



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

**PROPUESTA DE PLANTAS DE
TRATAMIENTO PARA EL SANEAMIENTO
DEL RÍO MAGDALENA**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERA QUÍMICA**

**PRESENTA
KAREN VELÁZQUEZ PEDROZA**

DIRECTORA DE TESIS: DRA. MARÍA TERESA ORTA LEDESMA



MÉXICO, D.F. 08 DE MAYO DE 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

Bernardino Velázquez Romero y Eleazar Pedroza Díaz

Por el apoyo recibido durante mi carrera, la confianza brindada, aún en momentos difíciles y en especial por su cariño, para el cual no existen palabras que expresen lo que ha significado en el transcurso de mis estudios. Por esto y mucho más, mi más profundo agradecimiento los quiero mucho.

A MIS HERMANOS:

Víctor Hugo, Mariela y Gladys

Por todo el apoyo y cariño que me han brindado en las buenas y en las malas y por el ejemplo que me dan a seguir los quiero mucho.

A MIS SOBRINOS:

Sharon, Irazú y Jorge

Por la motivación que me hacen para seguir adelante.

DE MANERA MUY ESPECIAL A MI MEJOR AMIGO:

Luciano Moreno Mateos

Por creer en mí y apoyarme en todo y llenarme de esas palabras alentadoras en los momentos más difíciles en el transcurso de mi carrera, gracias por el cariño y estar a mi lado en estos años, Te quiero Mucho Luciano.

AGRADECIMIENTOS

DIRECTORA DE TESIS

Dra. María Teresa Orta Ledesma, por la oportunidad de haberme permitido trabajar en el Instituto de Ingeniería y brindarme la asesoría, el apoyo y la motivación de hacer las cosas en cada etapa del proyecto y confiar en mí.

ASESORA DE TESIS

M. en C. Isaura Yáñez Noguez, por el asesoramiento y el apoyo en la elaboración de la tesis, sobre todo por la confianza que me brindo en todo momento y la paciencia que tuvo, mil gracias Maestra.

COORDINADORA DE TESIS

QFB. Beatriz Ríos Soriano, por el asesoramiento de la tesis y sobre todo por la amistad que me brindo gracias Bety.

COLABORADORES DE LA DELEGACIÓN MAGDALENA CONTRERAS

M. en C. Lauro Escamilla Pérez, Sr. Erik y el Sr. Julio, por todo el apoyo que nos brindaron para llevar a cabo el recorrido y muestreo del río Magdalena en la zona rural.

A MI ASESOR DEL ÁREA HIDRÁULICA Y COMPAÑEROS DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA (UNAM)

Ing. Juan Ansberto por el asesoramiento hidráulico del río Magdalena y a mis compañeros, Raúl, Erick ,Iván , y Mara , por su gran apoyo en momentos difíciles y su compañerismo en todo momento gracias.

A MI COMPAÑERA Y AMIGA DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA (UNAM)

Jazmín Rentería Martínez, por su apoyo, amistad y cariño haciendo más agradable el trabajo, gracias por tu amistad.

A MIS PROFESORES Y SINODALES DE LA FES-Z (UNAM)

Ing. Mariano Ramos Olmos, Ing. Pablo Valero Tejeda, Ing. Ernesto Moreno Villalba, Ing. Dominga Ortiz Bautista, Ing. Genaro Sánchez Ramos, y Ing. Analilia Maldonado Arrellano, mil gracias por las motivaciones y asesoramiento que me brindaron para poder concluir la carrera.

A MIS AMIGOS

Erika, Rocio, Lucia, Rosario, Armando, Hugo, Isaac, Ricardo, Álvaro y Paolo con quienes comparto momentos felices, difíciles y siempre tengo el apoyo de ellos, mil gracias por su amistad.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA
JEFATURA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
QUÍMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/001/09
ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: VELÁZQUEZ PEDROZA KAREN
P R E S E N T E

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

PRESIDENTE	I. Q. Genaro Sánchez Ramos
VOCAL	Dra. María Teresa Orta Ledesma
SECRETARIO	I. Q. José Mariano Ramos Olmos
SUPLENTE	I. Q. Ana Lilia Maldonado Arellano
SUPLENTE	M. en C. Isaura Yáñez Noguez

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

México D. F., a 20 de Enero de 2009

JEFA DE LA CARRERA

I. B. Q. HILDA OLVERA DEL VALLE





CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE TABLAS.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	II
GLOSARIO.....	III
RESUMEN.....	V
CAPÍTULO I.	
1.1 Introducción.....	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Antecedentes.....	4
1.4 Objetivos.....	7
1.5 Hipótesis.....	7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1 Historia del río Magdalena en la Ciudad de México.....	8
2.2 Afectación de las descargas de agua residual al cauce de los ríos.....	11
2.3 Sistemas de tratamiento para agua residual.....	16
2.3.1 Pretratamiento.....	17
2.3.2 Tratamiento primario	18
2.3.3 Tratamiento secundario.....	20
2.3.3.1 Procesos con biomasa suspendida.....	20
2.3.3.1.1 Lagunas de estabilización.....	20
2.3.3.1.2 Lodos activados.....	22
2.3.3.2 Procesos con biomasa fija.....	24
2.3.3.3 Tratamiento de lodos.....	24



	Pág.
2.3.3.4 Proceso Físicoquímico Coagulación-Floculación (Tratamiento primario avanzado).....	27
2.3.4 Tratamiento Avanzado y Recuperación del Agua Residual.....	33
2.4 Restauración de ríos.....	35
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	
3.1 Localización geográfica de los puntos de muestreo de agua superficial y residual de las descargas activas con ayuda de un GPS (Sistema de Posicionamiento Global).....	37
3.2 Inventario de descargas de agua residual activas y no activas del río Magdalena.....	38
3.3 Muestreo de agua superficial y agua residual de las descargas.....	38
3.4 Evaluación de la calidad del agua mediante el análisis físicoquímico y microbiológico del agua superficial y residual en base a normas establecidas.....	40
3.4.1 Calidad del agua superficial, considerando el cálculo del (ICA) Índice de Calidad del Agua.....	40
3.4.2 Análisis físicoquímico y microbiológico del agua residual en base a normas establecidas.....	43
3.5 Determinación del gasto.....	44
3.6 Estimación de la carga orgánica.....	44
3.7 Propuesta plantas de tratamiento para el saneamiento del río Magdalena.....	45
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	
4.1 Resultados de la localización geográfica de los puntos de muestreo de agua superficial y residual de las descargas activas con ayuda de un GPS (Sistema de Posicionamiento Global).....	46
4.2 Resultados del inventario de descargas de agua residual activas y no activas del río Magdalena.....	50



	Pág.
4.3 Resultados de la evaluación de la calidad del agua mediante el análisis fisicoquímico y microbiológico del agua superficial y residual en base a normas establecidas.....	54
4.4 Resultados la determinación del gasto.....	60
4.5 Resultados de la estimación de la carga orgánica.....	60
4.6 Resultados de la propuesta plantas de tratamiento para el saneamiento del río Magdalena.....	61
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.....	71
CAPÍTULO VI RECOMENDACIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	74
ANEXOS TÉCNICAS ANALÍTICAS.....	79



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1.1 Saneamientos de ríos en México.....	5
2.1 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual.....	13
2.2 Variantes de los lodos activados.....	22
2.3 Procesos de tratamiento y manejo de lodos.....	25
3.1 Registro de información para asegurar la integridad de la muestra.....	38
3.2 Conservar y transportar las muestras.....	39
3.3 Lista de valores de los Índices individuales (Ii) y el factor de ponderación (Wi) para calcular el ICA.....	41
3.4 Criterios de tratamiento según el ICA.....	42
4.1 Coordenadas GPS de los 19 sitios de muestreo de agua superficial.....	46
4.2 Coordenadas GPS de los 10 sitios de muestreo de agua residual.....	48
4.3 Inventario de las descargas de agua residual activas y no activas observadas.....	50
4.4 Resultados promedio de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua superficial.....	54
4.5 Resultado de los Índices individuales de cada variable en cada estación muestreada.....	55
4.6 Suma de las variables en cada estación para finalmente para obtener el Índice de calidad del agua.....	55
4.7 Resultados promedio de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las descargas de agua residual.....	59
4.8 Resultados de la determinación de gastos promedios de agua residual.....	60
4.9 Resultados de la estimación de carga orgánica.....	60
4.10 Propuesta de las ocho plantas de tratamiento para el saneamiento del río Magdalena.....	62



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
2.1 Mapa río Magdalena.....	9
2.2 Tratamiento planta convencional de agua residual doméstica.....	16
2.3 Proceso de lodos activados (a) Tipo flujo pistón, (b) Completamente mezclado...	23
2.4 El río Sumida en 1967 antes del saneamiento.....	36
2.5 El río Sumida en 1982 después del saneamiento.....	36
4.1 Mapa de ubicación de los 19 sitios de muestreo para agua superficial.....	47
4.2 Mapa de ubicación de los 10 sitios de muestreo para agua residual.....	49
4.3 Descarga 1. Proveniente de la planta potabilizadora (izquierda).....	51
4.4 Descarga 2. Proveniente de la planta potabilizadora (derecha).....	51
4.5 Descarga 3. Doméstica.....	51
4.6 Descarga 4. A un lado de la estación de autobuses.....	51
4.7 Descarga 5. Edificio del CISEN.....	52
4.8 Descarga 6. Colector Av. Sta. Teresa / Av. México.....	52
4.9 Descarga 7. Colector Av. Sta. Teresa / Av. México.....	52
4.10 Descarga 8. Drenaje servicio a la comunidad.....	53
4.11 Descarga 9. Drenaje servicio a la comunidad	53
4.12 Descarga 10. Drenaje marginal atrás del hotel Camino Real	53
4.13 Colector Marginal.....	61
4.14 Diagrama de operaciones unitarias de un Sistema Biológico.....	63
4.15 Diagrama de operaciones unitarias de un Sistema Fisicoquímico.....	65



GLOSARIO

Afluente: Río secundario que desemboca en otro principal.

Aerobio: Organismos que solo pueden vivir en un medio con oxígeno, utilizando el mecanismo de respiración aerobio. Un proceso que ocurre en presencia del oxígeno, tal como la digestión de la materia orgánica por las bacterias.

Agentes tensoactivos: Es una sustancia que reduce la tensión de superficie de un líquido.

Anaerobio: Organismo cuyo proceso biológico no requiere oxígeno. Un proceso que ocurre en ausencia de oxígeno, tal como la digestión de la materia orgánica por las bacterias.

Arqueobacterias: Las archaeas (o arqueas) son microorganismos unicelulares. Al igual que las bacterias, las archaeas carecen de núcleo y son por tanto procariontes. Sin embargo, las diferencias a nivel molecular entre arqueas y bacterias son tan fundamentales que se las clasifica en grupos distintos. De hecho, estas diferencias son mayores de las que hay, por ejemplo, entre una planta y un animal. Actualmente se considera que las archaeas están filogenéticamente más próximas a los eucariontes que a las bacterias.

Biopelícula: Una biopelícula o *biofilm* es un complejo de agregación de microorganismos marcado por la excreción de una matriz adhesiva protectora. Las biopelículas también son comúnmente caracterizadas por adhesión a la superficie, heterogeneidad estructural, diversidad genética, interacciones complejas de comunidad, y una matriz extracelular de sustancias poliméricas. Con este mecanismo se busca promover cambio fisiológico, metabólico y de regulación génica, para así lograr la producción de determinados metabolitos secundarios, según sean las modificaciones

Compuestos orgánicos volátiles: Son todos aquellos hidrocarburos que se presentan en estado gaseoso a la temperatura ambiente normal o que son muy volátiles a dicha temperatura.

Cuenca: es una superficie terrestre asociada a uno o varios elementos. La cuenca hidrográfica de un río o de una estación es la porción de territorio para la cual cada gota de agua cayendo en ella es susceptible de llegar al río o a la estación.

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día.

Degradación: Transformación de algo, generalmente más complejo, en otro más sencillo.



DQO: Demanda Química de Oxígeno.

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

Efluente: Es el líquido que sale del sistema de tratamiento, o alguno de sus elementos en particular.

Eutrofización: Designa el enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema.

Influente: Es el líquido a tratar que entra a un sistema de tratamiento, o alguno de sus elementos en particular.

Materia Orgánica: Son sustancias químicas que contienen carbono, formando enlaces covalentes carbono-carbono y/o carbono-hidrógeno. En muchos casos contienen oxígeno, y también nitrógeno, azufre, fósforo, boro, halógenos y otros elementos. Estos compuestos se denominan Moléculas orgánicas. No son moléculas orgánicas los compuestos que contienen carburos, los carbonatos y los óxidos de carbono.

Nutrientes: Son un producto químico procedente del exterior de la célula y que ésta necesita para realizar sus funciones vitales. Dicho producto es tomado por la célula y transformado en constituyente celular a través de un proceso metabólico de biosíntesis llamado anabolismo o bien es degradado para la obtención de otras moléculas y de energía.

Protista: Reino de seres vivos de pequeño tamaño que incluye los protozoos y las algas, constituidos por células eucariotas y que no presentan tejidos u órgano diferenciados.

Proteínas: Cualquiera de las numerosas sustancias químicas formadas por aminoácidos que forman parte de la materia fundamental de las células y de las sustancias vegetales y animales.

Rotíferos: Los **Rotíferos (Rotifera)** constituyen un filo de animales pseudocelomados microscópicos (entre 0,1 y 0,5 mm) con unas 1.500-2.000 especies que habitan en aguas dulces, tierra húmeda, musgos, líquenes, hongos, e incluso agua salada.

Saneamiento: Acción y efecto de sanear.

Sanear: Reparar o remediar algo.

Virus: Organismo de estructura muy sencilla, compuesto de proteínas y ácidos nucleicos, y capaz de reproducirse solo en el seno de células vivas específicas, utilizando su metabolismo.



RESUMEN

El río Magdalena sufre un gran problema, la contaminación de la mitad de su cauce se debe a las descargas de agua residual originadas por las poblaciones aledañas.

El saneamiento de ríos es una alternativa para recuperar el recurso hidrológico y mejorar el medio ambiente con ayuda de sistemas de tratamiento.

Para poder llevar a cabo este trabajo se realizó:

- La localización geográfica de los puntos de muestreo de agua superficial y residual de las descargas activas con ayuda de un GPS (Sistema de Posicionamiento Global). es un aparato que da una ubicación exacta del punto al cual nos queramos referir y localizar fácilmente, ya sea en un mapa, o físicamente en un lugar.
- Inventario de descargas de agua residual activas y no activas del río. Se localizaron a través de la inspección visual en los múltiples recorridos de campo a lo largo del río, desde su nacimiento hasta la avenida Churubusco esquina con avenida Coyoacán en las zonas en las cuales existe el libre acceso territorial.
- Muestreo de agua superficial y agua residual de las descargas. Las muestras fueron colectadas en botellas y bolsas estériles sumergidas en el agua superficial y para el agua residual se tomaron directas de las descargas con botellas de plástico, tapadas y transportadas en frío al laboratorio del Instituto de Ingeniería.
- Evaluación de la calidad del agua mediante el análisis fisicoquímico y microbiológico del agua superficial y residual en base a normas establecidas.
- Determinación del gasto y estimación de la carga orgánica de las descargas de agua residual activas.
- Por último se llevó a cabo la propuesta de las plantas de tratamiento para el saneamiento del río Magdalena.

Se encontraron 19 puntos de muestreo de agua superficial y 10 puntos de muestreo de agua residual de las descargas activas.



El GPS permitió la localización de 60 descargas, de las cuales sólo 10 se observaron activas en los 6 muestreos. Las primeras 5 descargas fueron de un gasto bajo de (0.0008L/s a 1.4 L/s) y una estimación de carga orgánica también baja de (0.01Kg/día a 57.5Kg/día) y en las otras 5 presentaron con un gasto de (0.8L/s a 34.50L/s) y una estimación más elevada de (9.3Kg/día a 801.2Kg/día).

El muestreo de agua superficial y residual permitió evaluar la calidad del agua, en la cual se encontró que la mitad del cauce del río está contaminado y que el grado de contaminación rebasa los límites permisibles de los parámetros evaluados. En el agua residual se encontró una concentración de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno al Quinto día) y DQO (Demanda de Química de Oxígeno) que representa un agua residual doméstica típica.

Para realizar la propuesta se tomó como consideración los resultados obtenidos de las descargas de agua residual que vierten directamente al río, esta contaminación se ve reflejada por el ICA del río Magdalena que recibe dichas descargas, tanto la caracterización como la contaminación del gasto aportado por los colectores marginales aledañas al río en las que se observaron fugas. Estos resultados fueron la base para proponer el proceso de tratamiento y el número de plantas de tratamiento de agua residual.

En la propuesta, se sugirieron ocho plantas de tratamiento en el tramo abierto del cauce del río, únicamente identificando la localización y el gasto estimado de las plantas de tratamiento indicando los posibles tipos procesos de tratamiento biológicos y fisicoquímicos.



CAPÍTULO I

1.1. Introducción

En la actualidad, la Ciudad de México sufre uno de los más grandes problemas que preocupa a la humanidad, la escasez y la calidad del agua potable para consumo. Todas las actividades humanas que tienen impacto sobre el ambiente se han incrementado dramáticamente en las últimas décadas. Las escalas de la urbanización, operaciones industriales y producción agrícola han alcanzado el punto en el cual, finalmente repercuten en la calidad de los recursos hidrológicos. El presente trabajo se enfoca a uno de los cuerpos de agua más importantes de la Ciudad de México en el Distrito Federal, el río Magdalena.

El fenómeno de contaminación de las aguas superficiales crea la necesidad de desarrollar proyectos para proteger la calidad de ésta y hace a los sistemas de tratamiento esenciales para obtener una calidad de agua aceptable para cada uso destinado. El río Magdalena presenta una problemática de contaminación severa, ya que más de la mitad de su cauce se encuentra convertido prácticamente en drenaje.

El río Magdalena recibe descargas de agua residual que por ende contienen sustancias contaminantes que tienen un efecto en la degradación de la calidad del agua. En la Ciudad de México, la principal fuente de contaminación del río Magdalena y de los ríos en general, son las descargas de aguas residuales (Sistemas de aguas de la Ciudad de México 2007).

El aporte de materia orgánica contenida en dichas aguas residuales, lleva a la alteración del balance de oxígeno y se encuentra frecuentemente acompañada por contaminación microbiana y de otros tipos. Los desechos domésticos de la agricultura y efluentes agroindustriales, contribuyen a la contaminación con fosfatos y nitrógeno amoniacal, aumento en la salinidad, contaminación por nitratos y plaguicidas, además de la erosión de suelo, esto provoca inclusive un aumento en el contenido de sólidos disueltos en el río.

De todos los ríos que originalmente corrían en la ciudad de México, el río Magdalena es el único que queda vivo y su inminente deterioro, podría ir en aumento si no se toman medidas urgentes en el saneamiento de su cauce.

Los objetivos de este trabajo fueron realizar un inventario de descargas, evaluar la calidad del agua del río y proponer sistemas de tratamiento para agua residual que permitan sanear el cauce del río Magdalena en todos sus tramos abiertos, para la cual se identificaron las descargas de agua residual en la cuenca del río Magdalena, mediante utilización de



mapas, así como a través de recorridos de campo, se establecieron los puntos de muestreo dependiendo de las descargas de agua residual que se localizaron, se midieron los gastos de cada una de las descargas de agua residual activas, y se estimó la aportación de carga orgánica vertida al río por las descargas de agua residual, mediante el gasto medido y la determinación de materia orgánica medida como DBO_5 .

El presente estudio incluyó la evaluación de la calidad de agua superficial y de agua residual en puntos estratégicos de su recorrido.

El diagnóstico permitió localizar las zonas del río que cuentan todavía con una calidad del agua adecuada para su aprovechamiento como agua potable. Así también, se localizaron las zonas de mayor contaminación en el río.

Los resultados obtenidos de la evaluación de la calidad del agua superficial y residual (descargas), el gasto medido y la estimación de los aportes de carga orgánica permitieron proponer las plantas de tratamiento con los posibles procesos de tratamiento, el gasto estimado y la localización del área en donde pueden estar ubicadas así que sean como medida de saneamiento.



1.2. Justificación

El río Magdalena nace en las faldas del Cerro La Palma, ubicado al oeste sobre el territorio de la Delegación Cuajimalpa, siendo alimentado por numerosos manantiales y afluentes, entre los que destacan el río Eslava, El Tepapatlapa y El Potrero. Cuenta con un escurrimiento perenne debido a los manantiales que lo surten, una porción de esta agua es captada por las dos plantas potabilizadoras, la primera localizada en el Primer Dinamo, la segunda en la Cañada, y otra parte continúa hasta unirse al río Mixcoac y descarga en el drenaje al río Churubusco, el cual desemboca en el Lago de Texcoco. Su longitud es de aproximadamente 24 Km.

La calidad del agua es un concepto amplio. Su mantenimiento significa que las aguas naturales no pueden sobrecargarse con nutrientes orgánicos o inorgánicos, o con sustancias tóxicas, nocivas o inaceptables desde el punto de vista estético. No deberían convertirse en vehículos de transmisión de contaminación fecal, ni deberían alterar significativamente su oxigenación, temperatura, salinidad, turbidez o pH (Ronald M. Atlas 2002).

El aporte de materia orgánica contenida en dichas aguas residuales, lleva a la alteración del balance de oxígeno y se encuentra frecuentemente acompañada por contaminación microbiana y de otros tipos. Los desechos domésticos de la agricultura y efluentes agroindustriales, contribuyen a la contaminación con fosfatos y nitrógeno amoniacal, aumento en la salinidad, contaminación por nitratos y plaguicidas, además de la erosión de suelo, esto provoca inclusive un aumento en el contenido de sólidos disueltos en el río.

Para implementar medidas de recuperación en el cauce del río Magdalena, fue necesario que el presente estudio incluyera la evaluación de la calidad de agua en puntos estratégicos de su recorrido. Para tal efecto mediante reconocimientos de campo, se eligieron los sitios de muestreo, tanto en el área de suelo de conservación donde todavía no se observa un deterioro visible que es la zona rural, así como en la zona urbana. En ésta última, se espero encontrar la mayor afectación del río por las descargas de agua residual.



1.3. Antecedentes

México es un país en el que la actividad económica y la población, están ubicadas de manera inversa a la distribución natural del agua y, en consecuencia, a la disponibilidad de este recurso.

En las últimas décadas, la crisis de agua se ha agudizado debido al desmedido crecimiento de la población, convirtiéndose en el principal obstáculo de la planeación y ordenamiento urbano, y a la diversificación de las actividades productivas, que en su conjunto demandan grandes volúmenes de este recurso, lo cual trae como consecuencia una mayor generación de aguas residuales, que al ser descargada sin tratamiento en los cuerpos receptores perjudican sus usos legítimos y disminuyen su potencial de aprovechamiento (Leyva, 1998).

En México, el 63% del agua utilizada proviene de fuentes superficiales y el restante 37% proviene de acuíferos (CONAGUA 2007). El intenso crecimiento demográfico y la migración interna a regiones semiáridas y áridas resultan en una sobreexplotación de los recursos hídricos de México. Según la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), la sobreexplotación del agua subterránea representa casi el 40% del uso total de ésta.

Actualmente, sólo el 30% de las aguas servidas reciben algún tipo de tratamiento. La CONAGUA estima que el 52% del total de los recursos hídricos superficiales está muy contaminado, mientras que el 39% está contaminado de forma moderada y sólo el 9% es de calidad aceptable (Banco Mundial 2006).

El saneamiento de ríos es un tema importante por la problemática que presenta México; desde el 2000 ya se ha estado trabajando con este tema para recuperar el recurso hídrico, cabe mencionar que algunos ríos del país lo están llevando a cabo, como se mencionan brevemente en la tabla 1.1.

**Tabla 1.1 Saneamientos de ríos en México**

Nombre de los ríos y su Estado	Año en que se empezó el saneamiento
Río Colorado (Sonora)	2000
Río Conchos (Chihuahua)	2005
Río Bravo (Coahuila)	2006
Río Colón (Querétaro)	2006
Río Zahuapan (Tlaxcala)	2006
Río Lerma-Chapala	2006
Río Mololoa (Nayarit)	2006
Río Hondo (Chetumal)	2007
Río Turbio (Guanajuato)	2007
Río Santiago (Jalisco)	2008
Río Apatlaco (Morelos)	2008
Río Coatzacoalcos (Veracruz)	2008

Fuente: www.agua.org.mx

En el 2007 la CONAGUA reportó los avances de saneamiento de los ríos en el país que en breve son mencionados:

Recuperación y sustentabilidad de la cuenca Lerma-Chapala.

A fin de atender la problemática presente en esta cuenca, se conformó el Grupo Técnico de Trabajo para la Cuenca Lerma-Chapala (GTT) con la representación de todas las instituciones del sector ambiental federal, mismos que se han reunido en cuatro ocasiones. Con el objetivo de elaborar el Programa de Manejo Integral de la cuenca y dado que en México todavía no se cuenta con este instrumento, el GTT ha iniciado la revisión de una serie de experiencias internacionales. Asimismo, ha seleccionado cinco subcuencas prioritarias, las cuales ya cuentan con un diagnóstico así como algunas recomendaciones de acciones para iniciar los trabajos de recuperación en este mismo año.



De conformidad con el Convenio de Coordinación y Concentración para distribuir las aguas superficiales de la Cuenca Lerma-Chapala, en el 2007 se llevo a cabo la revisión de nuevas alternativas para la distribución de las aguas superficiales, así como la elaboración del documento de divulgación de las reglas seleccionadas para operar el sistema.

Programa Frontera Norte

De enero a junio de 2007, el Gobierno Federal en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, las agencias binacionales Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) y Banco de desarrollo de América del Norte (BDAN), y el gobierno de los Estados Unidos de América, a través de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), continuó impulsando el desarrollo y la construcción de infraestructura hidráulica y de saneamiento en diversas localidades fronterizas.

- Para el ejercicio 2007, la inversión estimada se canalizó a través de los programas APAZU, Programa para la Sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (PROSSAPYS) y el programa de devolución de Devolución de Derecho (PRODERS). Para Julio, los recursos erogados estuvieron integrados con aportaciones de la EPA, de los estados y municipios, así como créditos del BDAN y recursos de la CONAGUA.
- Entre las obras que destacan, están la conclusión del Colector Guadalupe Victoria y un sistema de lagunas de infiltración en San Luis Río Colorado; el seguimiento al Programa Integral de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado en Nogales en beneficio de 129 mil habitantes; la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el este de Matamoros misma que dará tratamiento a un caudal de 385 litros por segundo en su primera etapa; y la licitación de las Plantas de Tratamiento 1 y 2 en Reynosa, las cuales darán un tratamiento de 1500 litros por segundo, respectivamente.



1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Realizar un inventario de las descargas de agua residual que viertan al río Magdalena y evaluar la calidad del agua para proponer sistemas de tratamiento que permitan el saneamiento del cauce.

1.4.2. Objetivos Particulares

- Identificar las descargas de agua residual en la cuenca del río Magdalena, mediante la utilización de mapas, así como a través de recorridos en campo.
- Establecer los puntos de muestreo dependiendo de las descargas de agua residual que se localicen.
- Medir los gastos de cada una de las descargas de agua residual activas.
- Estimar la aportación de carga orgánica vertida al río por las descargas de agua residual, mediante el gasto medido y la determinación de materia orgánica medida como DBO₅.
- Evaluar la calidad del agua superficial y residual en puntos estratégicos del recorrido del río Magdalena.

1.5. Hipótesis

Si se encuentra un gran número de descargas de agua residual que vierten directamente al río, la calidad del agua en el cauce se verá afectada debido a los contaminantes que aportan dichas descargas, el cuerpo de agua se puede restaurar cuantificando la carga contaminante y aplicando sistemas de tratamiento.



CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Historia del río Magdalena en la Ciudad de México

El crecimiento de la ciudad, el hundimiento del terreno y el peligro de inundaciones obligó primero a bordear y luego a entubar los ríos que pasaban a cielo abierto por la zona urbanizada. Esto ocurrió con el río Churubusco, que recoge los aportes de los ríos Eslava, Magdalena y Mixcoac; el río de la Piedad, al que vierten los ríos Becerra y Tacubaya; el río Consulado, que recibe los arroyos que van desde Dolores hasta el Tornillo; y el de los Remedios, cuyos tributarios son el Hondo y el río de San Javier. Para regularizar estas corrientes se ha ido instalado un sistema de presas en las montañas del poniente de la ciudad: Presa Anzaldo, Tetelpa y Tarango, que regularizan las aguas de los ríos Magdalena, Tequilazgo y Barranca del Muerto, las cuales descargan el mayor caudal en el interceptor del poniente y los sobrantes en el río Churubusco (Enciclopedia de México S.A de C.V., 1985).

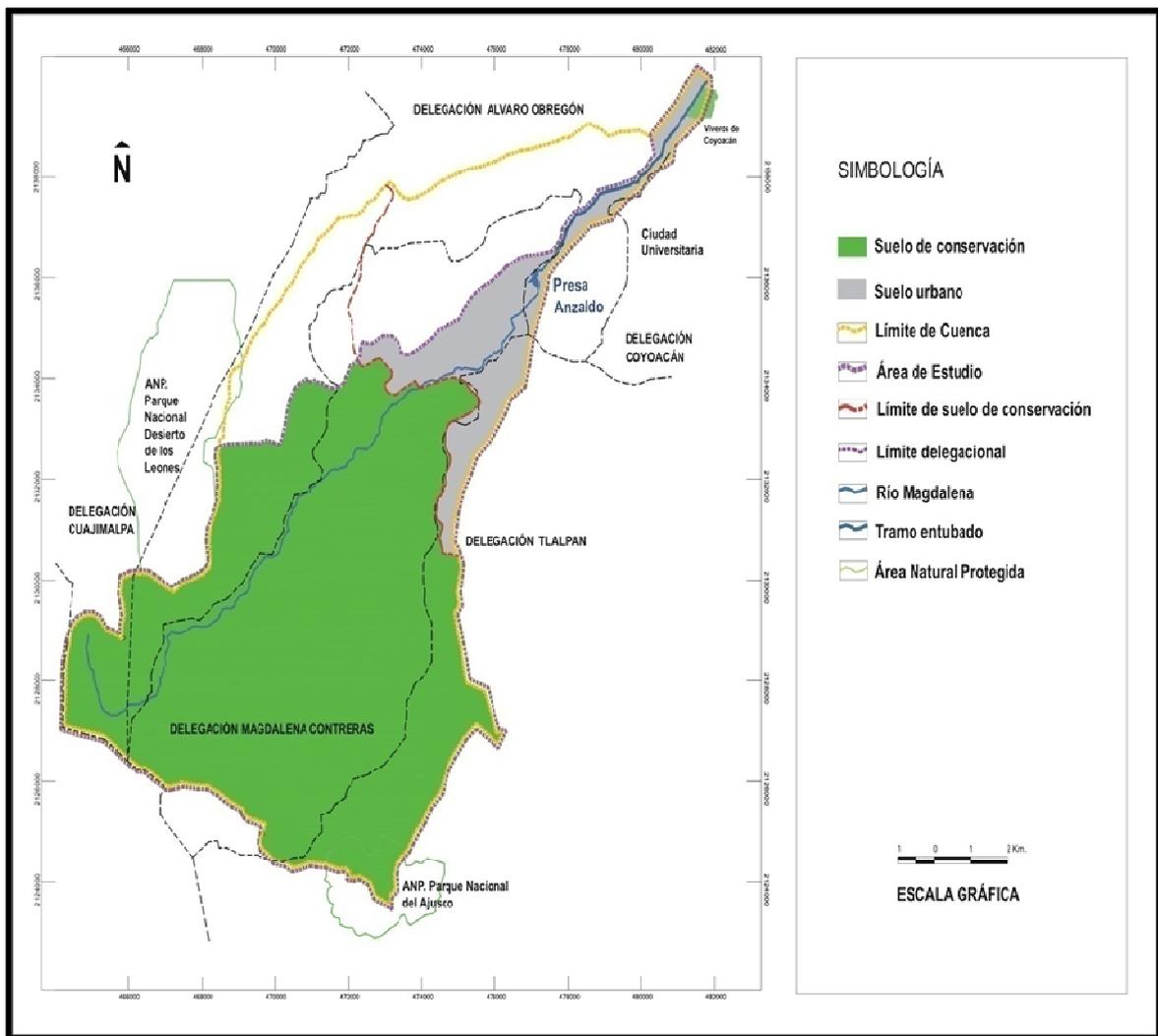
La Magdalena Contreras esta situada al suroeste del Distrito Federal, colinda al norte y al poniente con la delegación Álvaro Obregón y al sur y al oriente con la delegación Tlalpan (Enciclopedia de México S.A de C.V., 1985).

La Delegación cuenta con 3 principales cuerpos de agua superficial: río Magdalena, río Eslava y río Coyotes, estos dos últimos utilizados como receptores de aguas negras y/o vertederos de aguas residuales producidos por asentamiento humanos aledaños, los cuales generan focos de infección y contaminación de mantos acuíferos, proporcionando un decremento de la calidad de vida de la población y un deterioro ambiental.

El río Magdalena es el único río vivo del Distrito Federal; nace en el cerro “La Palma” dentro de la delegación Cuajimalpa; es un río perenne con un caudal aproximado de alrededor de $1\text{m}^3/\text{s}$ en la época de estiaje; se alimenta con el aporte de gran números de manantiales que existen en los bosques de la Cañada Contreras donde se forma una red de arroyos tributarios del río Magdalena; parte de su caudal es captado por las plantas potabilizadoras, la primera ubicada en el primer dinamo donde aproximadamente una quinta parte de su volumen y la segunda ubicada en “La Cañada” que es aprovechada y potabilizada para ser distribuida a varias colonias de la delegación a través de la red agua potable. Al ingresar al área urbana, en la cual recorre más de diez kilómetros, recibe descargas domiciliarias, de unidades habitacionales y el vaciado de otros colectores,

realizando una función de drenaje hasta llegar a la presa Anzaldo, para después unirse al río Mixcoac y formar el río Churubusco que desemboca en el lago de Texcoco. Su longitud aproximada es de 24Km., se muestra en la siguiente figura 2.1.

Figura 2.1 Mapa río Magdalena



Fuente: Proporcionado por el PUEC (Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad)

El agua potable proviene de manantiales propios y del sistema del Alto Lerma. El drenaje cubre el 85% de las zonas de habitación; en el resto, la dispersión de las viviendas y lo accidentado del terreno hacen muy difícil la instalación del servicio de agua potable. Se



han levantado represas a base de gaviones para controlar las avalanchas en épocas de lluvias e ir nivelando el cauce de los arroyos.(Enciclopedia de México S.A de C.V., 1985).

El río de La Magdalena, nace en la ladera noreste del cerro de San Miguel, en la sierra de las Cruces. Por su margen derecha se le une el río Eslava, que baja de la sierra del Ajusco, y por la izquierda el río Mixcoac. A partir de esta confluencia, en 1808 se le construyó un lecho artificial de arena hasta su desembocadura en el lago de Xochimilco y a mediados de este siglo fue entubado y conducido hacia el desfogue del lago de Texcoco. Cuando se hizo el repartimiento de sus aguas, el río Magdalena surtía a tres pueblos (Totolapa, La Magdalena y San Jacinto), tres barrios (Ocotepc, Tizapán y Pitingo), tres haciendas, seis batanes, cinco obrajes, cuatro molinos y 10 huertas. A fines del siglo XIX esta misma corriente fluvial movía la maquinaria de las fábricas textiles de Contreras (La Magdalena), el Águila Mexicana y Tizapán y las de papel de Santa Teresa y Loreto (Enciclopedia de México S.A de C.V., 1985).

El río Magdalena esta clasificado tipo B según la Ley Federal de Derechos en Materia de Aguas esto quiere decir que debemos cumplir con la NOM-001-SEMARNAT-1996 “Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales.

Es importante mencionar el gasto ecológico, pero en el caso del río Magdalena no se tiene ese resultado, porque no hay datos hidrométricos.

El gasto ecológico es “el caudal o volumen mínimo necesario en cuerpos receptores, que debe conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico”.



2.2. Afectación de las descargas de agua residual al cauce de los ríos.

El agua de los ríos, también llamada superficial, es un recurso limitado, esencial para la agricultura, industria e inclusive la misma existencia humana. Un desarrollo sostenible no es posible sin la adecuada cantidad y calidad de este recurso. El desarrollo social, económico y político ha estado estrechamente relacionado a la disponibilidad y distribución de agua contenida en los ríos.

El fenómeno de contaminación de las aguas superficiales crea la necesidad de desarrollar proyectos para proteger la calidad de esta, y hace a los sistemas de tratamiento esenciales para obtener una calidad de agua aceptable para cada uso destinado.

La descarga de químicos tóxicos y de aguas residuales, la sobreexplotación de acuíferos y la misma contaminación atmosférica, desencadenan la producción de sustancias que favorecen el crecimiento de algas (con la consiguiente posibilidad del desarrollo del fenómeno llamado eutrofización) lo cual tiene un efecto en la degradación de la calidad del agua.

La descarga de materia orgánica como la contenida en los drenajes, lleva a la alteración del balance del oxígeno y se encuentra frecuentemente acompañada por contaminación microbiológica. Particularmente los desechos domésticos, desechos de la agricultura y efluentes agroindustriales, contribuyen la contaminación con fosfatos y nitrógeno amoniacal. Los problemas asociados con la agricultura son el aumento en la salinidad, contaminación por nitratos y plaguicidas y erosión de suelo, lo cual produce un alto contenido de sólidos disueltos en el río.

Todas las actividades humanas que tienen impacto sobre el ambiente se han incrementado dramáticamente en las últimas décadas. Las escalas de la urbanización, operaciones industriales y producción agrícola han alcanzado el punto en el cual finalmente repercuten en la calidad de los recursos hidrológicos. Este fenómeno es global y particularmente la Ciudad de México no es la excepción.

Las aguas residuales son la combinación de los residuos líquidos o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Metcalf y Eddy, 1996).



Los componentes que conforman el agua residual que genera una comunidad, dependen del tipo de sistema de recolección empleado y pueden incluir:

- a) **Agua residual doméstica típica o sanitaria.** Es el agua procedente de residencias, instalaciones comerciales, públicas y similares. Estos desechos son muy importantes en lo que se refiere a la salud pública ya que pueden contener organismos dañinos al hombre, por lo que su tratamiento y disposición constituye el principal problema de acondicionamiento de las aguas residuales.
- b) **Agua pluvial.** Agua resultante del escurrimiento superficial de las lluvias; se incluyen las que provienen de nieve y granizo. Su volumen varía según la intensidad de la precipitación, la topografía y las superficies pavimentadas y techadas. Estos escurrimientos pueden ser colectados y dispuestos junto con los efluentes de la comunidad o ser tratados separadamente.
- c) **Infiltraciones y conexiones incontroladas.** Agua que penetra de forma no controlada en la red de alcantarillado, procedente del subsuelo o del agua pluvial que es descargada a la red por bajantes de agua de edificios, drenes de cimentaciones y alcantarillas pluviales. El volumen de agua infiltrado no puede determinarse con exactitud porque depende de la estructura del suelo, del tipo de alcantarillado, de las condiciones del agua subterránea, de las lluvias, etc.
- d) **Agua residual industrial.** Agua residual en la cual predominan los productos de desecho de los procesos industriales. El volumen y características de esta agua varía mucho, pues depende del tipo de establecimiento industrial.

El nivel y la naturaleza de la descomposición de los sólidos en las aguas residuales han dado origen a los siguientes términos que describen la condición o estado de las aguas.

- a) **Agua residual fresca.** Se refiere al agua a la cual se le acaba de agregar la materia contaminante. Contienen oxígeno disuelto y sólidos en suspensión en cantidades variables. Son turbias, de color negro.
- b) **Agua residual séptica.** Describe al agua residual en la que se ha agotado completamente el oxígeno disuelto, de manera que se realiza una descomposición anaerobia de los contaminantes. Se caracterizan por un color negruzco, olor fétido y desagradable, y por tener sólidos suspendidos de color negro.



- c) **Agua residual estabilizada.** Es el agua en la que los contaminantes han sido descompuestos hasta sólidos prácticamente inertes. El oxígeno disuelto está nuevamente presente, su color es ligero o nulo, y tienen pocos sólidos suspendidos.

Debido a la gran diversidad de elementos y compuestos que pueden estar presentes en las aguas residuales, no es factible dar detalle de los componentes presentes en una muestra dada; sin embargo, se puede considerar que existe un conjunto de ellos que tienen importancia por la influencia que ejercen en la selección de una tecnología de tratamiento del agua; así como en el diseño y operación de la planta de tratamiento, los cuales se dividen en características: físicas, químicas y biológicas. En la tabla 2.1 se enlistan las características ya mencionadas.

Tabla 2.1. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual.

Características	Procedencia
Propiedades físicas	
Color	Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales
Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas
Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales
Propiedades químicas	
Orgánicos:	
Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Fenoles	Vertidos industriales
Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Agentes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales



Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Compuestos orgánicos volátiles	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Otros	Degradación natural de materia orgánica
Inorgánicos:	
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro infiltración de agua subterránea
Cloruros	Aguas residuales domésticas, agua de suministro infiltración de agua subterránea
Metales pesados	Vertidos industriales
Nitrógeno	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas
pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Fósforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Azufre	Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
Gases:	
Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de residuos domésticos
Metano	Descomposición de residuos domésticos
Oxígeno	Agua de suministro; infiltración de agua superficial
Propiedades biológicas:	
Animales	
Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento
Protistas.	Cursos de agua y plantas de tratamiento
Eubacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento



Arqueobacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
Virus	Aguas residuales domésticas

Fuente Metcalf & Eddy Tomo I 1996

- a) **Características físicas.** Son las propiedades físicas son relativamente fáciles de medir, algunas de las cuales las puede observar cualquier persona rápidamente.
- b) **Características químicas.** Las propiedades químicas más importantes de las aguas residuales y se hace mención de su influencia en el tratamiento de estas últimas, abordando los siguientes apartados: (1) materia orgánica, (2) materia inorgánica, y (3) gases presentes.
- c) **Características biológicas.** El análisis bacteriológico de las aguas residuales es uno de los parámetros de la calidad más importantes para saber que tipo de microorganismos esta presente en el agua residual.

Sí se permite la acumulación y estancamiento de agua residual, la descomposición de la materia orgánica puede conducir al agua residual cruda, la presencia de numerosos microorganismos patógenos, causantes de enfermedades que habitan en el aparato intestinal humano (Metcalf y Eddy 1996).

Dentro de los parámetros que hacen visible dicha alteración se encuentra la disminución de oxígeno disuelto, ya que los microorganismos que degradan la materia orgánica consumen oxígeno para su oxidación. Si la demanda de oxígeno es superior a la aireación por disolución de oxígeno atmosférico, se puede llegar a un ciclo anaerobio: se consume oxígeno combinado en lugar de molecular, creándose un ambiente reductor, con la aparición de amoníaco, nitrógeno y ácido sulfhídrico, y la reducción de sulfatos a sulfuros; el agua se torna oscura y de olor desagradable, lo cual es evidencia de que existen microorganismos patógenos (APHA, AWWA, WPCF 1995).

La incorporación de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, implican la alteración inminente de varios niveles de la cadena trófica, desde microorganismos hasta animales superiores. Así también, la incorporación de materia en suspensión reduce la entrada de luz y atrofia los órganos respiratorios y filtradores de muchos animales (APHA, AWWA, WPCF 1995).



Con el aumento de la población en las ciudades, ha crecido la cantidad de aguas residuales así como la capacidad de los colectores. Las descargas de dichas aguas residuales representan un riesgo importante de salud pública que amerita todo un desarrollo conceptual para su manejo. Así, ahora se considera que las aguas residuales municipales deben ser colectadas, tratadas y devueltas al medio ambiente de forma que no produzcan alteraciones al mismo o afecten a la salud. Lo anterior es una forma de revertir la contaminación ocasionada en suelos, ríos, lagos, océanos y aguas subterráneas (Huang y Karadi, 2004).

2.3. Sistemas de tratamiento para agua residual.

Una vez establecidos los objetivos de tratamiento para un proyecto específico, y revisadas las normativas estatales y federales a las que se debe ajustar, el grado de tratamiento necesario puede determinarse comparando las características del agua residual cruda con las exigencias del efluente correspondiente (Metcalf y Eddy 1996).

Un sistema de depuración o tren de tratamiento se compone de la combinación de procesos (cambios de estado en la materia) y operaciones unitarias (fuerzas físicas de separación) que tienen por objeto reducir determinados compuestos hasta un nivel predeterminado. Las diferentes etapas de tratamiento corresponden a los niveles denominados pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario o avanzado (Jiménez, 2001). En la figura 2.2. Se presenta la secuencia de operaciones y procesos unitarios que constituyen una planta de tratamiento convencional de agua residual doméstica. Se señala que en este diagrama no se incluye el tratamiento terciario, que sería posterior al secundario y previo a la desinfección.

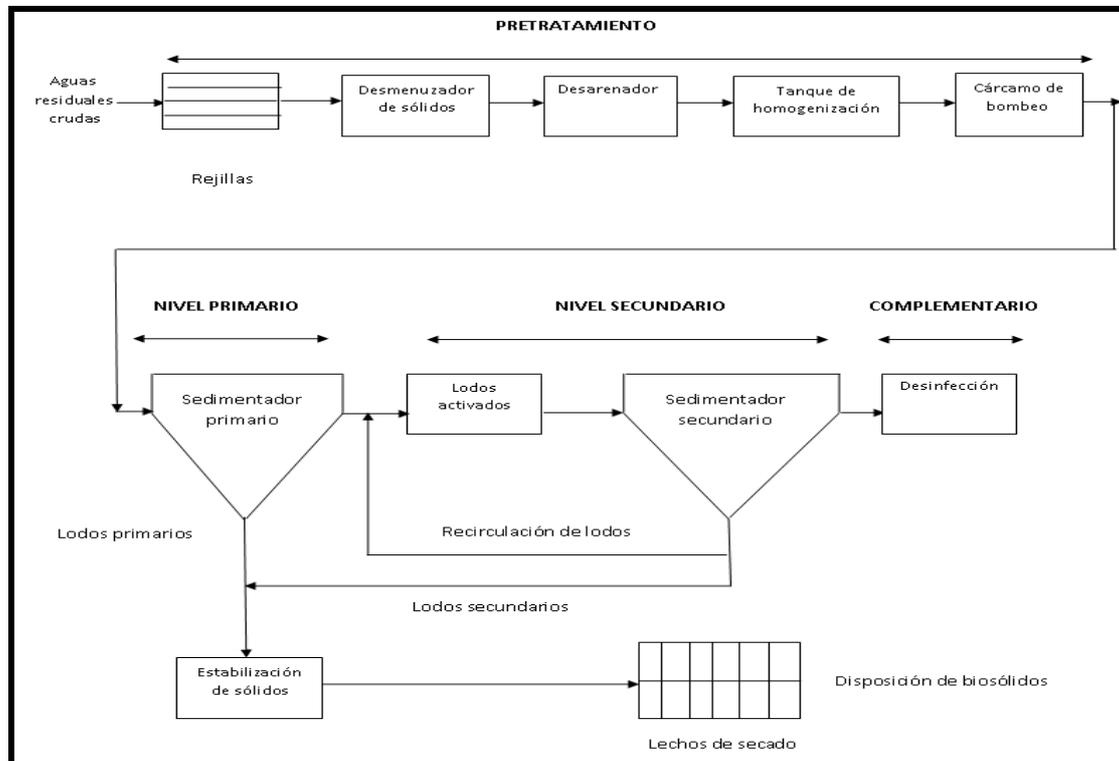


Figura 2.2 Tratamiento planta convencional de agua residual doméstica

Fuente: Jiménez, 2001

Los procesos y operaciones se describen en brevemente:

2.3.1. Pretratamiento

El pretratamiento se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. Las operaciones unitarias físicas que se utilizan en el pretratamiento de aguas residuales son el cribado, la reducción de sólidos gruesos mediante desmenuzadores, la desarenación, la homogeneización y la flotación (Metcalf and Eddy, 2003). A continuación se describe brevemente cada una:

- **Cribado.** Es la etapa del pretratamiento en la que se realiza la remoción de sólidos suspendidos de gran tamaño por medio de unidades de rejillas o microtamices. Se



aplica tanto en potabilización como en depuración. Para que la eficiencia de retención de esas partículas sea alta, los canales donde se instalan las rejillas se diseñan para que el agua fluya con velocidad menor de 1 m/s: es recomendable que sea del orden de 0.3 m/s.

Comúnmente, se emplean aberturas grandes de 2.5 a 10 cm. Los dispositivos son limpiados periódicamente en forma mecánica o automática para remover basura retenida, la cual debe ser tratada o enviada a un sistema de disposición final. Ver la tabla 2.3.

El microtamiz es una forma más moderna de la rejilla, usa malla fina de acero inoxidable con tamaño similar. En ocasiones, también se usa el microtamizado como tratamiento terciario para obtener un efluente de agua residual de alta calidad.

- **Desmenzadores de sólidos gruesos.** Son molinos, cortadoras y trituradoras que interceptan sólidos grandes para molerlos o cortarlos en pedazos más pequeños y uniformes y luego regresarlos a la corriente para su remoción posterior. Se recomienda colocarlos precedidos de desarenadores para alargar la vida del equipo (WEF y ASCE, 1998).
- **Desarenación.** La unidad desarenadora se utiliza para remover sólidos inorgánicos sólidos inorgánicos pesados; el material que elimina puede dañar las partes mecánicas de la planta de tratamiento. Los desarenadores operan bajo el principio de sedimentación debido a la reducción de la velocidad del flujo. Se aplican en potabilización y depuración. La mayoría de los sistemas de alcantarillado y, especialmente, los de drenaje combinado transportan en el flujo grandes cantidades de arena con diámetro de 1 a 2 mm y peso específico de 2.65, tienen velocidad de sedimentación de 0.60 m/s.

El desarenador es un canal que se diseña para sostener una velocidad horizontal constante 0.3 m/s y tiempo de retención de 30 a 60 s. Los hay, también, circulares y de tipo ciclónico.

- **Homogeneización.** Se utiliza para: (a) aminorar las variaciones de ciertas corrientes de aguas residuales y conseguir una corriente mezclada, con un caudal relativamente constante a la entrada de la planta de tratamiento y (b) para atenuar las variaciones de la carga orgánica del influente a los procesos de tratamiento (Ramalho, 1993).
- **Flotación.** Cuando las partículas son muy pequeñas y de baja densidad (cercana a la del agua), la flotación se emplea para removerlas en los desarenadores. Los tiempos



de retención son relativamente cortos y se obtiene buena clarificación. Se emplea para instalaciones grandes.

El proceso requiere que se añada un agente de flotación que, normalmente son finas burbujas de aire que se adhieren a las partículas suspendidas y actúan como medio de transporte a la superficie donde son removidas en forma de nata. A pesar de que el costo de las unidades de flotación es menor que el de las sedimentación, el costo de operación es la principal limitante.

La flotación mediante aire puede ser tan efectiva que reduzca el tiempo de retención a 15 o 20 minutos, comparado con el de horas empleadas en la sedimentación por gravedad.

2.3.2. Tratamiento primario

Los objetivos del tratamiento primario son producir un efluente líquido adecuado para el tratamiento secundario posterior, generalmente biológico. Para ello, se deben separar sólidos en forma económica, con la finalidad de reducir la carga orgánica evaluada como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). Además, sirve para igualar la calidad y el flujo del agua residual cruda en cierto grado y, de esta manera, proteger los procesos posteriores. La reducción de carga orgánica al proceso biológico disminuye la demanda de oxígeno y el consumo de energía para oxidar la materia biodegradable particulada, se promueve así una mejor remoción del sustrato soluble durante la aireación y se reduce el volumen del reactor biológico. Las formas más comunes del tratamiento primario son la sedimentación primaria y la recolección de natas (WEF y ASCE, 1998).

La sedimentación primaria separa las partículas suspendidas del agua que tienden a decantar bajo condiciones de reposo. También, remueve material flotante (aceites, grasas, plásticos, etc. en forma de natas (recolección de natas), evita problemas de espumas en el tratamiento secundario y mejora el aspecto estético de la planta en general (apariencia y olor). Se emplea como etapa complementaria de otro tratamiento o como tratamiento *per se*. En algunos casos, la sedimentación es el único tratamiento al que se somete el agua residual particularmente si el agua se usa en riego o se descarga al mar abierto (Ramalho, 1993).

Hay distintos tipos de sedimentación dependiendo de su aplicación, de las características y de la concentración de las partículas suspendidas. Las unidades de sedimentación tienen función dual: la remoción de sólidos sedimentables y la concentración de sólidos removidos en un volumen más pequeño de lodo. Existen aditamentos y



mecanismos para la mejora remoción de los lodos que se forman y para recoger la materia flotante, como aceites y grasas.

En plantas pequeñas se emplean tanques circulares de 12 a 45 m de diámetro; en las plantas grandes, usualmente, los sedimentadores son rectangulares. En un sedimentador circular el mecanismo de remoción de lodos es más simple y requiere menor mantenimiento. El sedimentador rectangular es hidráulicamente más estable y es más fácil controlar el flujo para grandes volúmenes de agua. En el diseño típico, la longitud varía de 2 a 4 veces al ancho y de 10 a 20 veces su profundidad. El fondo tiene una ligera pendiente para la remoción de lodos por medio de un sistema mecánico de rastras. Durante la sedimentación es posible clasificar las partículas en: discretas y floculantes. Las partículas discretas son las que no cambian con el tiempo en tamaño, forma y gravedad específica (desarenadores y sedimentación primaria). Las partículas floculantes son las que por sus propiedades de superficie se agregan o colapsan con otras al estar en contacto, de manera que cambia de tamaño, forma y gravedad específica con cada contacto. Las partículas floculantes se encuentran en sedimentadores de procesos primario avanzado y de biológicos. La aplicación de la sedimentación a estos procesos permite obtener un efluente estable, con bajas concentraciones de sedimentación a estos procesos permite obtener un efluente estable, con bajas concentraciones de sólidos (< 10 mg/L) y baja turbiedad (< 10 UTN), por lo que se les denomina clarificadores.

Los intervalos típicos de los clarificadores para partículas discretas son: 2.5 a 3m de profundidad del tanque, 1.0 a 2.5 m/h de carga hidráulica, 2 a 4 h de tiempo de retención y velocidad horizontal menor a 36 m/h, para evitar la resuspensión del lodo.

Para flóculos se emplean 3 a 4 m de profundidad, 0.6 a 1.0 m/h de carga hidráulica, 4 a 6h tiempo de retención y, en este caso, la velocidad de sedimentación horizontal es menor de 9m/h con longitud del tanque menor de 48m.

Un sedimentador especial es el clarificador por contacto de sólidos o de “lecho de lodos” que, además de la sedimentación, emplea filtración como mecanismos de eliminación. En efecto, al paso del agua a través de los lodos retenidos se eliminan sólidos suspendidos de menor tamaño.

2.3.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario se refiere generalmente a los procesos biológicos aunque en algunos casos se aplican los fisicoquímicos (coagulación-floculación, específicamente). La finalidad de este nivel de tratamiento, en cuanto a procesos biológicos se refiere, es la



transformación de la materia orgánica disuelta a biomasa¹, dióxido de carbono (CO₂) y agua. En el caso del tratamiento fisicoquímico el objetivo es eliminar sólidos coloidales, fósforo y metales disueltos por medio de la formación de coágulos sedimentables (Ramalho, 1993; Jiménez, 2001).

Los principales **procesos biológicos** utilizados en el tratamiento de aguas residuales se pueden dividir en dos categorías principales: procesos con biomasa suspendida y procesos con biomasa fija.

2.3.3.1. Procesos con biomasa suspendida

En este tipo de procesos, los microorganismos responsables del tratamiento se mantienen en suspensión dentro del agua residual mediante un mezclado apropiado. Muchos de los procesos con biomasa suspendida operan en condiciones aerobias, es decir, se suministra oxígeno al sistema para que los microorganismos aerobios puedan degradar la materia orgánica; aunque también existen sistemas que trabajan en condiciones anaerobias (en ausencia de oxígeno) y se utilizan principalmente para aguas residuales industriales con altas cargas orgánicas. Entre los tratamientos con biomasa suspendida se encuentran el sistema de lodos activados, las lagunas de estabilización y el reactor de contacto anaerobio. El proceso con biomasa suspendida más comúnmente utilizado para el tratamiento de aguas residuales municipales en el mundo, por su versatilidad y criterios de diseño bien definidos, es el de lodos activados Ello, a pesar de que en México el que más abunda en número es el de lagunas. Estos dos procesos se discuten con mayor detalle en las secciones siguientes (Metcalf y Eddy, 2003).

2.3.3.1.1. Lagunas de estabilización

Lagunas de estabilización es un término genérico que se les da a los procesos de tratamiento que se llevan a cabo en estanques o lagunas con diversas profundidades. El tratamiento ocurre por la oxidación de la materia orgánica debida a las bacterias y al suministro de oxígeno que aportan las algas. Estos sistemas son ampliamente utilizados por la sencillez de su aplicación. Son recomendables para lugares con climas cálidos o semicálidos, en áreas con bajo costo de terreno y de fácil excavación, cuando la carga orgánica tiene grandes variaciones y donde hay presupuesto limitado, sin embargo, no aplican en terrenos difíciles de impermeabilizar o en zonas con alta evaporación. Son capaces de remover sólidos suspendidos, materia orgánica y organismos patógenos como los huevos de helmintos. Las lagunas se pueden clasificar según su profundidad y las reacciones biológicas que ocurren dentro de ellas en:

¹ La biomasa es un consorcio bacteriano que consume la materia orgánica y la utiliza para su reproducción. Así, la materia orgánica transformada en nuevo material celular es separada en el sedimentador secundario.



- **Lagunas aerobias:** Son poco profundas (0.8 a 1.2 m), que se utilizan para el tratamiento de agua residual. Los contaminantes orgánicos son degradados por bacterias aerobias y facultativas.

Debido a las limitaciones inherentes al diseño, las lagunas aerobias son empleadas normalmente para remover materia orgánica. El oxígeno disuelto utilizado para el metabolismo bacteriológico aerobio es suministrado por la transferencia de oxígeno entre el aire y la superficie del agua y por las algas fotosintéticas. La cantidad de oxígeno abastecido por la aeración natural superficial depende, en gran medida, de la turbulencia generada por el viento.

- **Lagunas facultativas:** Son aquellas en las cuales la parte superior permanece aerobia mientras que en la inferior no hay oxígeno disuelto. La mayoría de las lagunas de estabilización existentes son del tipo facultativo. En efecto, casi todas contienen materia sedimentada que conforma una capa bentónica anaerobia. En el caso de una laguna que recibe aguas residuales crudas, el volumen de la materia sedimentable puede ser considerable, en cambio, en un sistema de lagunas conectadas en serie, la carga de materia sedimentable decrece en la medida que se pasa a lo largo del sistema.

También se conocen como lagunas de oxidación y son las más usadas. Su profundidad típica es de 1.5 a 2.5 m.

- **Lagunas aireadas o estanques:** Éstas pueden ser aerobia-aireada o facultativa aireada. En ellas, las algas no son la fuente principal de suministro de oxígeno disuelto (OD) para la respiración bacteriana. En su lugar, se usan difusores u otros instrumentos de aeración mecánica que proporcionan mayor transferencia de oxígeno y crean cierto grado de mezclado.

El sistema se complementa por un tanque de separación de la biomasa producida, que puede ser un sedimentador secundario convencional, o bien, una laguna facultativa. En este proceso no se contempla la recirculación de sólidos del decantador hacia la laguna aireada. Por lo anterior, los sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado presentan concentraciones de entre 200 y 500 mg/L.

Pueden ser parcial o completamente mezcladas. El oxígeno se suministra mediante aireadores superficiales o difusores. Las profundidades típicas son de 3 a 6 m.

- **Lagunas anaerobias:** Se utilizan para el tratamiento de agua residual con alto contenido orgánico y de sólidos. No tienen zona aerobia y su profundidad típica varía de 2.5 a 6 m (WEF y ASCE, 1998; Jiménez, 2001).



2.3.3.1.2. Lodos activados

El sistema de lodos activados recibe este nombre porque involucra la producción de una “suspensión activa” de microorganismos capaz de estabilizar un residuo bajo condiciones aerobias. Dicha suspensión está compuesta por bacterias, hongos, protozoarios y rotíferos, de tal manera que las características del agua residual, condiciones ambientales, diseño del proceso y su modo de operación determinan el grupo de microorganismos que se desarrollará predominantemente (WEF y ASCE, 1998).

Se han desarrollado un gran número de variantes de lodos activados con la finalidad de mejorar el tratamiento, disminuir los costos y producir un lodo más estable. En la tabla 2.2 se muestra un resumen de las variantes que se emplean en la práctica.

Tabla 2.2 Variantes de los lodos activados

MODIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Convencional (flujo pistón)	El agua residual y el lodo de recirculación entran al tanque de aireación en un extremo y son aireados con difusores o aireadores mecánico. En la aireación se realiza la adsorción, floculación y oxidación de la materia orgánica. La salida se encuentra en el extremo opuesto a la entrada.
Completamente Mezclado	El influente se dispersa uniformemente en todo el tanque de aireación, de manera que se produce una demanda de oxígeno y carga orgánica uniforme en el tanque.
Aireación Extendida	Funciona en la fase de respiración endógena, requiriendo de una carga orgánica relativamente baja y un largo período de aireación. Produce pocos lodos y se emplea mucho en plantas prefabricadas para pequeñas comunidades.
Estabilización por contacto	Este proceso usa la capacidad de adsorción que tienen los lodos activados para quitar materia orgánica en solución en un tanque pequeño.
Sistema de Oxígeno Puro	Se emplea oxígeno puro como sustituto del aire. El oxígeno se distribuye con difusores en tanques de aireación cubiertos y se recicla.



Zanja de oxidación	Consiste en un canal en forma de anillo, óvalo o carrusel, equipado con aireadores mecánicos que proporcionan el oxígeno requerido y ayuda a circular el licor mezclado. Son una forma de aireación extendida, con largos tiempos de retención hidráulico y celular.
Reactor Intermitente o Secuencial	Consiste en sistemas de llenado-vaciado en un reactor de mezcla completa. El licor mezclado es retirado del reactor al final de cada ciclo, eliminando el clarificador secundario.
Proceso Kraus	Se usa en aguas residuales con bajos niveles de nitrógeno. La nata y una porción de lodos son llevados a un tanque de aireación diseñado para nitrificar.

Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy Vol 2 1996

De las variantes del sistema de lodos activados, las más empleadas son la convencional o de flujo pistón (figura 2.3 (a)) y la completamente mezclada (figura 2.3 (b)) (Jiménez, 2001). Este sistema consiste en un tanque aireado, donde se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica, y en un clarificador o sedimentador secundario, donde la suspensión microbiana (lodos activados) que sale del tanque aireado junto con el agua tratada sedimenta para producir un efluente relativamente claro. Los lodos activados sedimentados o lodos secundarios se dividen en dos corrientes: (a) recirculación al tanque aireado para mantener la biomasa necesaria dentro del sistema, y (b) purga, que corresponde al crecimiento neto de la biomasa dentro del sistema. Dicha biomasa debe ser extraída para evitar su acumulación.

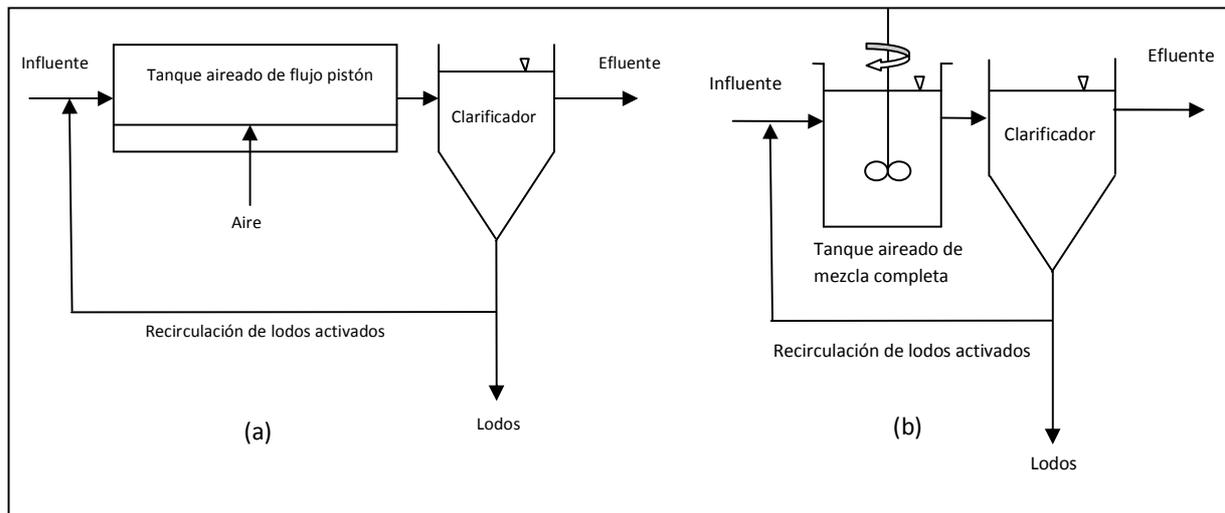


Figura 2.3 Proceso de lodos activados (a) tipo flujo pistón y (b) completamente mezclado. Adaptado de: Metcalf and Eddy, 2003

2.3.3.2. Procesos con biomasa fija

En los procesos con biomasa fija, los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica o de los nutrientes están adheridos a un material de soporte inerte. Los materiales de soporte pueden ser roca, grava, arena y una amplia variedad de materiales plásticos. Los procesos con biomasa fija también pueden operar como procesos aerobios o anaerobios. Además, el soporte puede o no estar completamente sumergido en el agua residual. La biomasa fija al empaque también se conoce como biopelícula.

Los procesos aerobios con biomasa fija son: sistema biológico de contacto o biodiscos. Este proceso se emplea como tratamiento secundario, aunque puede usarse para obtener una nitrificación estacional o continua. Consiste en una serie de discos concéntricos de poliestireno o cloruro de polivinilo parcialmente sumergidos en agua residual, en donde los microorganismos se adhieren formando una película biológica. La rotación de los discos pone alternativamente en contacto la biomasa con la materia orgánica presente en el agua residual y con la atmósfera para la adsorción del oxígeno. La rotación es así mismo, el mecanismo de eliminación del exceso de sólidos adheridos a los discos y mantienen la materia en suspensión, de manera que ésta pueda ser transportada al tanque clarificador o sedimentador secundario para remover los sólidos en suspensión remanentes.



Pero el más comúnmente utilizado es el filtro percolador². Es un tanque que contiene un lecho formado por un medio permeable en donde se encuentran adheridos los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica y a través del cual se filtra el agua residual. Cuando los microorganismos crecen, el espesor de la película aumenta, por lo que la capa biológica se desprende cíclicamente del lecho en forma natural. Una vez que el agua residual ha pasado por el lecho filtrante es colectada junto con los sólidos biológicos en la parte inferior y conducida a un sedimentador secundario, donde se sedimenta el lodo generado en el proceso. El reactor es generalmente circular, por lo que el agua es distribuida sobre el lecho mediante un distribuidor giratorio. El medio filtrante consiste en piedras o piezas de material sintético. Ver figura (Jiménez, 2001; Metcalf and Eddy, 2003).

2.3.3.3 Tratamiento de lodos

Los lodos están constituidos por agua y sólidos responsables del carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas, por lo que están sujetos a procesos de descomposición más intensos que los pueden hacer indeseables, lo que obliga a someterlos a un tratamiento que modifique sus características para su disposición en base a la NOM-004-SEMANART-2002 “Protección Ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final”.

Existe una gran gama de procesos de tratamiento de lodos, por lo que para seleccionar uno se debe considerar: el objetivo del mismo; el origen, naturaleza, cantidad y características del lodo; el costo de la evaluación y del tratamiento; y la aplicación que puedan tener estos residuos ya estabilizados. Como consecuencia, para escoger un tren de tratamiento de agua residual se debe considerar que, además de proporcionar un efluente con la calidad requerida, no debe generar grandes cantidades de subproductos indeseables y con constituyentes que dificulten su tratamiento.

Los procesos de espesamiento, acondicionamiento, deshidratación, secado y reducción térmica tienen como finalidad eliminar la humedad del lodo; mientras que la estabilización y desinfección se utilizan para modificar sus propiedades y simplificar su disposición final. En la tabla 2.3 se resumen los procesos más usados en el tratamiento de lodos.

² También se conoce como filtro rociador, biotorre o biofiltro (Jiménez, 2001).



Tabla 2.3 Procesos de tratamiento y manejo de lodos

Método de tratamiento	Objetivo
Operaciones de retratamiento:	Sirven para lograr que el flujo de lodo por tratar sea relativamente constante y homogéneo.
Trituración	Reducción de tamaño de los sólidos contenidos en el lodo.
Mezclado	Uniformizar las características de los lodos.
Almacenamiento	Absorber variaciones de gasto para lograr un caudal constante.
Desarenado	Remoción de arenas (Desarenadores ciclónicos).
Espesamiento	Consiste en la remoción de agua con la finalidad de reducir el volumen de lodos por tratar.
Por gravedad	Reducción del volumen por sedimentación y compactación del lodo.
Flotación	Disminución del volumen por inyección de aire.
Centrifugación	Espesamiento de los lodos.
Con banda de gravedad	Reducción del volumen por escurrimiento del agua al pasar los lodos por una banda móvil.
Tambor giratorio	Separación de sólidos floculados con polímeros del agua.
Estabilización	Consiste en reducir la putrefacción y presencia de los organismos patógenos en los lodos.
Adición de cal	Aumentar el pH que provoca la muerte de los microorganismos y evitar que el lodo se pudra.
Tratamiento térmico	Calentar los lodos para la estabilización del mismo.
Digestión anaerobia	Producir un lodo que no se pudra, con bajo contenido de patógenos y reducir volumen.
Digestión aerobia	Degradación de la materia orgánica por proceso similar al de lodos activados.
Composteo	Dstrucción de los organismos patógenos y recuperación del producto.
Acondicionamiento	Consiste en tratar el lodo con sustancias químicas o calor para separar el agua.
Químico	Facilitar la deshidratación mediante la aplicación de coagulantes químicos.
Tratamiento térmico	Pretratamiento para digestión.
Elutriación	Reducir el requerimiento de químicos al bajar la alcalinidad por el lavado de los lodos.
Desinfección	Consiste en eliminar los organismos patógenos presente en los lodos.
Pasteurización	Transmisión de calor a los lodos para matar los organismos patógenos.
Almacenamiento prolongado	Eliminación de patógenos.
Deshidratación	Reducir el contenido de humedad del lodo.
Filtro al vacío	Eliminación de agua con un tambor giratorio parcialmente sumergido en el lodo.
Filtro prensa	Separación del agua en cámaras revestidas con fieltro y sujetas a presión que retiene sólidos.
Filtro de banda horizontal	Espesamiento del lodo mediante drenaje por gravedad y compresión con rodillos.
Centrifugación	Reducción del volumen.
Lechos de secado	Eliminación de agua por drenaje y evaporación en lechos poco profundos con fondo poroso.



Lagunas	Reducción de humedad por evaporación al depositar el lodo en lagunas.
Secado térmico	Reducción del contenido de agua por evaporación de ésta al aire al aumentar la temperatura.
Evaporación efecto múltiple	Evaporación del agua y separación de sólidos y aceites.
Secado instantáneo	Disminución del agua por pulverización en presencia de gases calientes.
Secado por pulverización	Secado del lodo por centrifugación a alta velocidad y pulverización en presencia de calor.
Secado en horno giratorio	Eliminación de agua por poner a los lodos en contacto con gases calientes.
Secador de hogares múltiples	Reducción del agua por contacto del lodo con gases calientes en varias etapas.
Reducción térmica	Transformar los sólidos orgánicos a productos finales con poder calorífico.
Incineración hogares múltiples	Convierte el lodo en cenizas inertes con aplicación de calor, disminuyendo su volumen.
Incineración lecho fluidificado	Combustión del lodo con aire fluidificante.
Co-incineración con desecho	Incineración del lodo junto con residuos sólidos urbanos.
Reactor vertical con pozo	Estabilización y reducción de volumen con presión y temperatura en un pozo profundo.
Oxidación con aire húmedo	Oxidación de la materia orgánica y reducción de volumen por aplicación de aire comprimido.
Evacuación final	Destino final que se a los lodos.
Aplicación al suelo	Disposición con aprovechamiento del lodo en terrenos agrícolas, forestales o marginales.
Fijación química	Aprovechamiento del residuo y disposición final.
Rellenos sanitarios	Disposición final.
Lagunas	Reducción de volumen y disposición final.

Fuente: Adaptado de Metcalf y Eddy Vol 2 1996 Merit Vol IV 1995.

2.3.3.4. Proceso Físicoquímico Coagulación-Floculación (Tratamiento primario avanzado)

Es un proceso físicoquímico que consiste en la adición de coagulantes y/o floculantes, generalmente sales de hierro y aluminio, que remueven el material suspendido mediante la aglomeración de partículas coloidales o por arrastre³. La coagulación-floculación se realiza en dos etapas (Jiménez, 2001).

En la primera (coagulación) se efectúa una mezcla rápida para dispersar el coagulante y favorecer el contacto con el agua para desestabilizar a las partículas

³ Algunos coloides que no floculan son arrastrados por los flóculos durante su sedimentación.



coloidales, y en la segunda (floculación) se efectúa una mezcla lenta con la finalidad de promover la formación de flóculos a partir de la colisión de las partículas desestabilizadas (Metcalf and Eddy, 2003).

Una vez formados los flóculos son eliminados del agua por medios físicos como la sedimentación, flotación o filtración (Jiménez, 2001).

Coagulación

La coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un floculo o precipitado.

La coagulación de las partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua un producto químico (electrolito) llamado coagulante. Normalmente se utilizan las sales de hierro y aluminio.

Se pueden considerar dos mecanismos básicos en este proceso:

a) Neutralización de la carga del coloide.

El electrolito al solubilizarse en agua libera iones positivos con la suficiente densidad de carga para atraer a las partículas coloidales y neutralizar su carga.

Se ha observado que el efecto aumenta con el número de cargas del ión coagulante. Así pues, para materias coloidales con cargas negativas, los iones Ba y Mg, bivalentes, son en primera aproximación 30 veces más efectivos que el Na, monovalente; y, a su vez, el Fe y Al, trivalentes, unas 30 veces superiores a los divalentes.

Para los coloides con cargas positivas, la misma relación aproximada existe entre el ión cloruro, Cl, monovalente, el sulfato, $(SO_4)^{-2}$, divalente, y el fosfato, $(PO_4)^{-3}$, trivalente.

b) Inmersión en un precipitado o flóculo de barrido.

Los coagulantes forman en el agua ciertos productos de baja solubilidad que precipitan. Las partículas coloidales sirven como núcleo de precipitación quedando inmersas dentro del precipitado.

Los factores que influyen en el proceso de coagulación:



a) EL pH es un factor crítico en el proceso de coagulación. Siempre hay un intervalo de pH en el que un coagulante específico trabaja mejor, que coincide con el mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado.

Siempre que sea posible, la coagulación se debe efectuar dentro de esta zona óptima de pH, ya que de lo contrario se podría dar un desperdicio de productos químicos y un descenso del rendimiento de la planta.

Si el pH del agua no fuera el adecuado, se puede modificar mediante el uso de coadyuvantes o ayudantes de la coagulación, entre los que se encuentran:

- Cal viva.
- Cal apagada.
- Carbonato sódico.
- Sosa Cáustica.
- Ácidos minerales.

b) *Agitación rápida de la mezcla.*

Para que la coagulación sea óptima, es necesario que la neutralización de los coloides sea total antes de que comience a formarse el flóculo o precipitado.

Por lo tanto, al ser la neutralización de los coloides el principal objetivo que se pretende en el momento de la introducción del coagulante, es necesario que el reactivo empleado se difunda con la mayor rapidez posible, ya que el tiempo de coagulación es muy corto (1segundo).

c) *Tipo y cantidad de coagulante.*

Los coagulantes principalmente utilizados son las sales de aluminio y de hierro. Las reacciones de precipitación que tienen lugar con cada coagulante son las siguientes:

- Sulfato de aluminio (también conocido como sulato de alúmina) ($Al_2(SO_4)_3$)

Cuando se añade sulfato de alúmina al agua residual que contiene alcalinidad de carbonato ácido de calcio y magnesio, la reacción que tiene lugar es la siguiente:



$Al_2(SO_4)_3 + 3 Ca(HCO_3)_2 = 2 Al(OH)_3 + 3 CaSO_4 + 6 CO_2$ La reacción es análoga cuando se sustituye el bicarbonato cálcico por la sal de magnesio.

Rango de pH para la coagulación óptima: 5-7.5.

Dosis: en tratamiento de aguas residuales, de 100 a 300 g/m³, según el tipo de agua residual y la exigencia de calidad.

- Con cal:

$Al_2(SO_4)_3 + Ca(OH)_2 = 2 Al(OH)_3 + 3 CaSO_4$ Dosis: se necesita de cal un tercio de la dosis de sulfato de alúmina comercial.

- Con carbonato de sodio:

$Al_2(SO_4)_3 + 3 H_2O + 3 Na_2CO_3 = 2 Al(OH)_3 + 3 Na_2SO_4 + 3 CO_2$ Dosis: se necesita entre el 50 y el 100% de la dosis de sulfato de aluminio comercial.

- Sulfato ferroso (FeSO₄)

a) Con la alcalinidad natural:

$FeSO_4 + Ca(HCO_3)_2 = Fe(OH)_2 + CaSO_4 + CO_2$ Seguido de:

$Fe(OH)_2 + O_2 + H_2O = Fe(OH)_3$ Rango de pH para la coagulación óptima, alrededor de 9,5.

Dosis: se necesitan de 200 a 400 g/m³ de reactivo comercial FeSO₄ 7H₂O * Con cal:

$Fe(SO_4)_2 + Ca(OH)_2 = Fe(OH)_2 + Ca(SO_4)$ Seguido de:

$Fe(OH)_2 + O_2 + H_2O = Fe(OH)_3$ Dosis de cal: el 26% de la dosis de sulfato ferroso.

- Sulfato férrico (Fe₂(SO₄)₃)

Con la alcalinidad natural:

$Fe_2(SO_4)_3 + 3 Ca(HCO_3)_2 = 2 Fe(OH)_3 + 3 CaSO_4 + 6 CO_2$ Rango de pH para la coagulación óptima: entre 4 y 7, y mayor de 9.

Dosis: de 10 a 150 g/m³ de reactivo comercial Fe₂(SO₄)₃ 9H₂O * Con cal:



$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3 \text{Ca}(\text{OH})_2 = 2 \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3 \text{CaSO}_4$ Dosis de cal: el 50% de la dosis de sulfato férrico.

- Cloruro férrico (FeCl_3)
- Con la alcalinidad natural:

$2 \text{FeCl}_3 + 3 \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 3 \text{CaCl}_2 + 2 \text{Fe}(\text{OH})_3 + 6 \text{CO}_2$ Rango de pH para la coagulación óptima: entre 4 y 6, y mayor de 8.

Dosis: de 5 a 160 g/m³ de reactivo comercial $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ * Con cal:

$2 \text{FeCl}_3 + 3 \text{Ca}(\text{OH})_2 = 2 \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3 \text{CaCl}_2$ La selección del coagulante y la dosis exacta necesaria en cada caso, sólo puede ser determinada mediante ensayos de laboratorio.

Floculación

La floculación trata de la unión entre los flóculos ya formados con el fin aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos.

Básicamente, existen dos mecanismos por los que las partículas entran en contacto:

- Por el propio movimiento de las partículas (difusión browniana). En este caso se habla de Floculación pericinética o por convección natural. Es muy lenta.
- Por el movimiento del fluido que contiene a las partículas, que induce a un movimiento de éstas. Esto se consigue mediante agitación de la mezcla. A este mecanismo se le denomina floculación ortocinética o por convección forzada.

Existen además ciertos productos químicos llamados floculantes que ayudan en el proceso de floculación. Un floculante actúa reuniendo las partículas individuales en aglomerados, aumentando la calidad del flóculo (flóculo más pesado y voluminoso).

Hay diversos factores que influyen en la floculación:

- a) Coagulación previa lo más perfecta posible.
- b) Agitación lenta y homogénea.



La floculación es estimulada por una agitación lenta de la mezcla puesto que así se favorece la unión entre los flóculos. Un mezclado demasiado intenso no interesa porque rompería los flóculos ya formados.

c) Temperatura del agua.

La influencia principal de la temperatura en la floculación es su efecto sobre el tiempo requerido para una buena formación de flóculos.

Generalmente, temperaturas bajas dificultan la clarificación del agua, por lo que se requieren periodos de floculación más largos o mayores dosis de floculante.

d) Características del agua.

Un agua que contiene poca turbiedad coloidal es, frecuentemente, de floculación más difícil, ya que las partículas sólidas en suspensión actúan como núcleos para la formación inicial de flóculos.

e) Tipos de floculantes Según su naturaleza, los floculantes pueden ser:

- **Minerales:** por ejemplo la sílice activada. Se le ha considerado como el mejor floculante capaz de asociarse a las sales de aluminio. Se utiliza sobre todo en el tratamiento de agua potable.
- **Orgánicos:** son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético.

Los floculantes orgánicos de origen natural se obtienen a partir de productos naturales como alginatos (extractos de algas), almidones (extractos de granos vegetales) y derivados de la celulosa. Su eficacia es relativamente pequeña.

Los de origen sintético, son macromoléculas de cadena larga, solubles en agua, conseguidas por asociación de monómeros simples sintéticos, alguno de los cuales poseen cargas eléctricas o grupos ionizables por lo que se le denominan polielectrolitos.

Según el carácter iónico de estos grupos activos, se distinguen:

- **Polielectrolitos no iónicos:** son poliacrilamidas de masa molecular comprendida entre 1 y 30 millones.



- Polielectrolitos aniónicos: Caracterizados por tener grupos ionizados negativamente (grupos carboxílicos).
- Polielectrolitos catiónicos: caracterizados por tener en sus cadenas una carga eléctrica positiva, debida a la presencia de grupos amino.

En general, la acción de los polielectrolitos puede dividirse en tres categorías:

En la primera, los polielectrolitos actúan como coagulantes rebajando la carga de las partículas. Puesto que las partículas del agua residual están cargadas negativamente, se utilizan a tal fin los polielectrolitos catiónicos.

La segunda forma de acción de los polielectrolitos es la formación de puentes entre las partículas. El puente se forma entre las partículas que son adsorbidas por un mismo polímero, las cuales se entrelazan entre sí provocando su crecimiento.

La tercera forma de actuar se clasifica como una acción de coagulación formación de puentes, que resulta al utilizar polielectrolitos catiónicos de alto peso molecular. Además de disminuir la carga, estos polielectrolitos formarán también puentes entre las partículas.

Esta última etapa tiene como finalidad el separar los agregados formados del seno del agua.

El proceso tiene más de 100 años de aplicación y se dejó de emplear en agua residual doméstica en 1930 a favor de los procesos biológicos, debido al elevado costo ocasionado por el tratamiento de la gran cantidad de lodos generados. Actualmente, su aplicación ha retomado con dos fines: la eliminación del fósforo y la obtención de efluentes de calidad media a costos inferiores a los convencionales (biológicos). Este nuevo auge se debe a la síntesis de nuevos polímeros que permiten emplear bajas dosis de coagulantes y producir menores cantidades de lodos.

Los polímeros son los más empleados. Consisten de moléculas de cadena larga que tienen la capacidad de formar puentes y neutralizar los diferentes potenciales existentes entre las partículas floculadas. Existen varios tipos, los cargados positivamente, los negativos, los neutros y los anfotéricos (o zwitteriónicos). Estos últimos poseen tanto carga positiva como negativa. Los polielectrólitos pueden ser orgánicos o inorgánicos y, generalmente, se usan en dosis pequeñas (0.1 a 1mg/L). Su uso es restringido en agua de consumo debido al costo y a que, según sea su composición química puede introducir una



gama de impurezas que son problema en la potabilización, como es el caso de la acrilamida (Jiménez, 2001).

La selección de los reactivos, las dosis y las condiciones de operación apropiadas deben ser determinadas en laboratorio mediante la prueba de jarras (en batch) y con pruebas piloto (continuo).

2.3.4. Tratamiento Terciario o Avanzado y Recuperación del Agua Residual

Es el nivel de tratamiento necesario, posterior al tratamiento secundario convencional, para la eliminación de constituyentes de las aguas residuales que merecen especial atención, como los nutrientes, los compuestos tóxicos y los excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión. Además de los procesos de eliminación de nutrientes otros procesos u operaciones unitarias habitualmente empleadas en los tratamientos avanzados son la coagulación química, floculación, y sedimentación seguida de filtración, carbono activado y la cloración. Para la eliminación de iones específicos y para la reducción de sólidos disueltos, se emplean métodos menos comunes, como la electrodiálisis o la ósmosis inversa (Leyva, 1998).

Coagulación química: Este tratamiento remueve los sólidos remanentes de los procesos biológicos; así como fósforo, metales pesados, bacterias y virus. Consiste en inyectar al agua residual coagulantes como cal, alumbre o cloruro férrico que aceleran la sedimentación de los sólidos, ya que hacen que se aglutinen. La acción se mejora al agregar un polímero, como ayuda en la sedimentación, y por la floculación o agitación lenta, después el agua pasa a un sedimentador o clarificador donde se depositan los sólidos en el fondo.

Filtración: La filtración del agua es un proceso físico-químico que separa los sólidos suspendidos y la materia coloidal de la fase líquida por medio de un material poroso. Durante la filtración a profundidad, el agua llena los poros del filtro y las impurezas son retenidas en el empaque por adhesión. Aunque los filtros de membrana tienen eficiencia elevada, la rentabilidad del proceso hace que estos filtros se limiten para tratamientos específicos y que sea la filtración a profundidad la más común para el agua. La filtración eficiente implica tanto la desestabilización de la partícula como su transporte y retención. Por ello, el empleo de coagulantes es de gran ayuda durante este proceso. Tanto en el



campo de la potabilización como en el del tratamiento del agua residual, este proceso es siempre complementario de otros. Para evaluar su eficiencia se empelan los criterios de producción de agua por corrida y la eliminación de turbiedad. En la medida en que se empelan medios más finos mayor es la eficiencia lograda pero menor es la duración de la corrida. Para mantener el buen rendimiento se debe lavar periódicamente el filtro, lo que supone, por una parte, el consumo grande de agua procesada para este fin, y por otro, la interrupción del proceso. El lavado de estos sistemas se realiza en sentido ascendente hasta una expansión del lecho de entre 20% y 50%. La duración de corrida oscila entre 20 y 140 h, siendo el óptimo de 30 a 40 h en potabilización y de 6 a 48 h en tratamiento de efluentes secundarios, con un óptimo a las 24 h. Entre otras propiedades, la filtración:

Remueve partículas y materia coloidal no sedimentable después de la floculación biológica o química, o de ambas. Incrementa la remoción de sólidos suspendidos, turbiedad, fósforo, DBO₅, DQO, metales pesados, asbestos, bacterias, huevos de helmintos, virus y otras sustancias. Mejora la eficiencia y reduce el costo de desinfección a través de la remoción de materia orgánica suspendida y otras sustancias interferentes. Asegura la operación continua de la planta y calidad constante del efluente.

Carbón activado: Tiene la capacidad de remover sustancias orgánicas resistentes a la descomposición biológica. El agua residual fluye a través de una columna que contiene al carbón activado para que las sustancias se adhieran a la superficie de las partículas de carbón. El sistema es lavado periódicamente a contracorriente.

Cloración: Remueve nitrógeno al formar compuestos que se convierten en gas nitrógeno. Para lograr esta transformación deben agregarse 10mg de cloro por cada mg de nitrógeno amoniacal. El resultado es que se necesitan 40 o 50 veces más de cloro que el se requiere para la desinfección.

Electrodialisis: En este proceso los componentes iónicos del agua residual se separan por el uso de membranas semipermeables selectivas de iones, al cual se le aplica un potencial eléctrico.

Ósmosis inversa: Es la separación del agua de una solución concentrada a través de una membrana semipermeable por medio de una presión mayor que la presión osmótica y en sentido inverso a ésta. Este proceso, empelado comúnmente para eliminar sales disueltas, está bastante comercializado porque tiene elevados rendimientos en instalaciones relativamente compactas.



También se emplea el tratamiento avanzado para diversas posibilidades de reutilización de las aguas residuales para las cuales es preciso conseguir efluentes de alta calidad, como puede el caso del agua empleada para refrigeración industrial o para la recarga de aguas subterráneas. En términos de calidad del efluente, algunos procesos de tratamiento natural (antes llamado tratamiento en el terreno) pueden resultar equivalentes al tratamiento avanzado de las aguas residuales (Metcalf y Eddy, 1996).

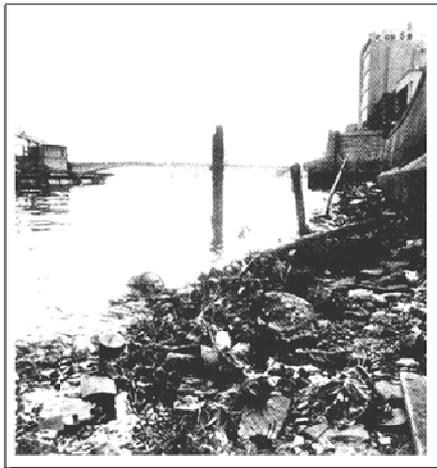
2.4. Restauración de ríos

En la actualidad la restauración de ríos a nivel mundial es un hecho, a continuación se mencionan los ríos que han sido restaurados a nivel mundial. Los cuales, son ejemplos fehacientes para llevar a cabo el saneamiento de cualquier río contaminado.

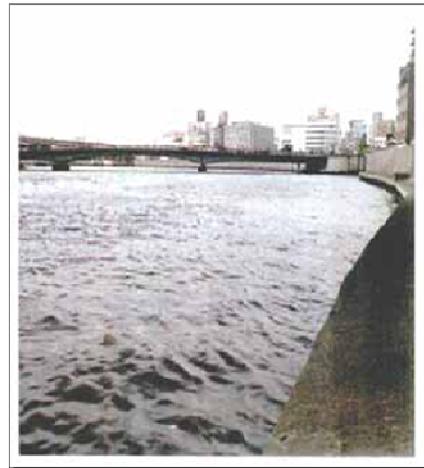
El River Walk San Antonio Texas, en 1800 el río se estaba convirtiendo prácticamente en drenaje afectando la salud de la población y acabando con la vegetación, en 1920 empezaron a planear el saneamiento de éste río, para lo cual se hizo la propuesta de implementar plantas de tratamiento de agua residual. Los estudios realizados y las propuestas que se aplicaron permitieron que el río este limpio, que sea una atracción turística, con un paisaje natural en su alrededor, inclusive la instalación de hoteles, restaurantes y centro comerciales, que hacen de un lugar agradable para los turistas y la población aledaña.

El Río Sumida Tokio Japón, este río está ubicado en la ciudad de Tokio Japón el río se estaba contaminando con las aguas residuales provenientes de industrias. La iniciativa de la restauración se presentó por la protesta de los pescadores debido a los eventos importantes como la muerte de los peces, en 1959 se iniciaron investigaciones de calidad del agua del río y se evaluó una carga orgánica medida como DBO_5 de 22mg/L a 32mg/L, en ese año también se empezó con el saneamiento del río, implementando plantas de tratamiento para agua residual provenientes de las industrias. La implementación de las plantas de tratamiento arrojó los primeros resultados, los cuales fueron satisfactorios, ya que se determinó, en 1964 la disminución de la carga orgánica medida como DBO_5 , la cual fue de 16mg/L; en 1970 se midió la carga orgánica y se observó un valor de DBO_5 de 7mg/L. Finalmente el río se declaró restaurado en 1982, en éste año la carga orgánica medida como DBO_5 fue aceptable

para la sobrevivencia de los peces, los cuales toleran una DBO_5 de 3mg/L. Los resultados obtenidos dieron la pauta para continuar con la restauración otros ríos en la ciudad de Tokio. En las figuras 2.4 y 2.5 se muestra el río antes y después del saneamiento (Shoji,1964).



**Figura 2.4 El río Sumida en 1967,
antes del saneamiento**



**Figura 2.5 El río Sumida en 1982,
después del saneamiento**

El Río Rhin Suiza, este río está ubicado en Suiza, en 1970 se empezaron a realizar investigaciones referentes a la calidad de agua y observaron que la concentración de oxígeno disuelto era demasiado baja de 2 a 4 mg/L, estos valores no permiten el desarrollo de cualquier tipo de vida. En este mismo año se empezó el saneamiento del río, para lo cual se llevó a cabo la instalación de sistemas de tratamiento. La puesta en marcha de los tratamientos aplicados al agua residual permitió que la concentración de oxígeno disuelto aumentara gradualmente, hasta que el río Rhin recuperó parte su biodiversidad en 1990, dichos resultados indicaron progresos en el saneamiento. Ahora es un río limpio conservando su biodiversidad.



CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Localización geográfica de los puntos de muestreo de agua superficial y residual de las descargas activas con ayuda de un GPS (Sistema de Posicionamiento Global)

En el río Magdalena se realizaron recorridos en campo mediante los que se inspeccionaron las zonas rural y urbana con la finalidad de seleccionar los puntos de muestreo de agua superficial de acuerdo a los siguientes criterios: suficiente gradiente de río y profundidad, sección uniforme y firme, estabilidad de la zona, sin obstrucciones, de fácil acceso, antes y después de una influencia de drenaje, antes y después de una intersección con otro río o arroyo y el área urbana, así como la zona de mayor afluencia de población (descargas no puntuales) (Manual de monitoreo biológico y químico en arroyos Georgia 2004).

Se llevó a cabo un recorrido en campo a lo largo del río, de tal manera que se recorriera en su totalidad; esto con la finalidad de ubicar y contabilizar las descargas de agua residual que vierten al río. Con la ayuda de mapas hidráulicos de la red de drenaje también se ubicaron las descargas que en teoría son colectados por la red de drenaje marginal.

Con el recorrido de campo, se localizaron los puntos de muestreo de agua superficial y residual utilizando un GPS (Sistema de Posicionamiento Global), es un aparato que da una ubicación exacta del punto al cual nos queremos referir y localizar fácilmente en un mapa y físicamente a un lugar.



3.2. Inventario de descargas de agua residual activas y no activas del río Magdalena.

Las descargas de agua residual, activas y no activas, se localizaron a través de la inspección visual en el recorrido de campo a lo largo del río desde su nacimiento hasta la avenida Churubusco esquina con avenida Coyoacán en las zonas en las cuales existe el libre acceso territorial.

Se llevo a cabo el inventario para contabilizar las descargas de agua residual que se vierten directamente al río, en las descargas que se encontraron activas se midió el gasto y se realizó la estimación de carga orgánica.

3.3. Muestreo de agua superficial y agua residual de las descargas.

La preparación de material para el muestreo, el propio muestreo, la conservación y el transporte de las muestras fueron realizadas conforme a la Norma Oficial Mexicana 014-SSA1-1993 “Procedimiento Sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados” y la Norma Oficial Mexicana 003-SEMARNAT-1980 “Lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales”. Las muestras fueron colectadas en botellas con y bolsas estériles sumergidas en el agua superficial y para el agua residual se tomaron directas de las descargas con botellas de plástico, tapadas y transportadas con hieleras en frío al laboratorio del Instituto de Ingeniería. Las mediciones que se llevaron a cabo *in situ* son las siguientes: temperatura del agua superficial y ambiente, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y pH.

Para controlar y asegurar la calidad de la toma de muestra se llevo a cabo la cadena de custodia. Es un documento en el que se registró toda la información necesaria para asegurar la integridad de la muestra desde la recolección hasta el reporte de resultados. La importancia de contar con este documento en el laboratorio estriba en prevenir la falsificación y/o alteración de la misma, así como conferir trazabilidad a la muestra como se describe en la siguiente tabla 3.1

Tabla 3.1 Registró de información para asegurar la integridad de la muestra

Fecha de Muestreo	Hora	Muestra	Resultado	Unidades	Analista	Observaciones	Tipo de Agua	Sitio de Muestreo
-------------------	------	---------	-----------	----------	----------	---------------	--------------	-------------------



Para conservar y transportar las muestras se tomaron los siguientes criterios según la NOM-014-SSA1-1993 que se enlistan en la siguiente tabla 3.2

Tabla 3.2 Conservar y transportar las muestras

Parámetro	Material del envase	Volumen mínimo (mL)	Preservación	Tiempo máx. (almacenar)
Temperatura	P,V		Determinar inmediatamente	
pH	P,V		Determinar inmediatamente	
Conductividad	P,V	200	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	28 días
Fosfatos	V	100	Enjuagar el envase con HNO ₃ 1:1 Refrigerar de 4 a 10°C	48 hrs
Nitratos	P,V	100	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	48 hrs
Nitrógeno Amoniacal	P,V	500	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH<2 y refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	28 días
Sólidos	P,V	1000	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	7 días
Sulfatos	P,V	100	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	28 días
Turbiedad	P,V	100	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	48 hrs
Coliformes Totales	P,V(esterilización en autoclave o bolsas estériles con cierre hermético)	250	Las muestras deben colocarse en hielera con bolsas refrigerantes o hielo para su transporte al laboratorio, de preferencia a una temperatura entre los 4-10°C cuidando de no congelar las muestras	6 hrs
Coliformes Fecales	P,V(esterilización en autoclave o bolsas estériles con cierre hermético)	250	Las muestras deben colocarse en hielera con bolsas refrigerantes o hielo para su transporte al laboratorio, de preferencia a una temperatura entre los 4-10°C cuidando de no congelar las muestras	6hrs
DBO ₅	P,V	1000	Las muestras deben colocarse en hielera con bolsas refrigerantes o hielo para su transporte al laboratorio, de preferencia a una temperatura entre los 4-10°C cuidando de no congelar las muestras	6hrs



3.4. Evaluación de la calidad del agua mediante el análisis fisicoquímico y microbiológico del agua superficial y residual en base a normas establecidas.

3.4.1 Calidad del agua superficial, considerando el cálculo del (ICA) Índice de Calidad del Agua.

Para los puntos de muestreo de agua superficial se monitorearon y analizaron durante los meses de enero-abril, 13 parámetros fisicoquímicos y 2 microbiológicos que fueron: Temperatura (°C), pH, Turbiedad (UTN), Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Fósforo Total, Conductividad Térmica, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Fósforo Total (PT), Nitratos (N-NO₃), Grasas y Aceites, Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), Coliformes Totales (CT) y Coliformes Fecales (CF). Con sus respectivas normas, descritas en el anexo de normas y técnicas. Y para indicar la calidad del agua consideramos el cálculo del (ICA) Índice de Calidad del Agua (Flores, 2008).

El Índice de Calidad del Agua (ICA), se define como el valor numérico que indica el estado actual del agua analizada y su posible uso en función de este valor, es decir, como: agua potable, en actividades de irrigación o agrícola, industrial, municipal, en pesca y usos recreativos (Flores, 2008).

En México se ha calculado el Índice de Calidad del Agua (ICA) acorde con la metodología propuesta por la Comisión Nacional del Agua, Hernández en el 2004 calculó este Índice considerando doce parámetros: Temperatura, Oxígeno Disuelto, pH, Conductividad, Turbiedad, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Grasas y Aceites, Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Nitrógeno Total, y Sólidos Suspendidos Totales.

Los Índices individuales (Ii) y los factores de ponderación (Wi) se incluye en la siguiente ecuación:

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Donde:

WQI; Índice de Calidad del Agua (water quality index)

Ii; Índice individual



Wi; Factores de ponderación

El Índice individual de cada parámetro se obtuvo al sustituirlo en las formulas enlistadas en la tabla 3.3, estas ecuaciones se derivan a partir de ecuaciones lineales de cada uno de los parámetros. Se asigna un factor de ponderación (Wi) alto a los parámetros que modifican drásticamente la calidad del agua del río, por ejemplo, para consumo humano el agua no debe contener microorganismos patógenos (Coliformes Fecales), si están presentes se dice que el agua es inaceptable para consumo humano (NOM-127-SSA-1994) por eso a este parámetro se le ha asignado Wi de 4 ver tabla 3.3 (Flores, 2008).

Tabla 3.3 Lista de valores de los Índices individuales (Ii) y el factor de ponderación (Wi) para calcular el ICA

Párametro	Índice individual (Ii)	Wi
T(°C)		
OD	%	
Turbiedad	$108 * \text{Tur}^{-0.178}$	0.5
pH	$\text{pH} < 6.7, 10^{0.2335 * \text{pH} + 0.44}$, $\text{pH} > 7.58, 10^{10.422 - 0.293 * \text{pH}}$	1
Conductividad	$540 * (\text{Cond})^{-0.379}$	2
DBO ₅	$120 * (\text{DBO}_5)^{-0.673}$	5
SST	$266.5 * (\text{SST})^{-0.37}$	1
PT	$34.215 * (\text{PT})^{-0.46}$	2
G y A	$87.25 * (\text{OG})^{-0.298}$	2
CF	$97.5 * (\text{CF})^{-0.27}$	4
CT	$97.5 * (\text{CF})^{-0.27}$	3
SAAM	$100 - 16.678 * \text{SAAM} + 0.1587 * \text{SAAM}^2$	3
NO ₃ ⁻	$162.2 * (\text{NO}_3^-)^{-0.343}$	2
N-NH ₃	$45.8 * (\text{NH}_3)^{-0.343}$	2
SDT	$109.1 - 0.0175 * (\text{SDT})$	0.5

Ejemplo del cálculo del Índice individual con el parámetro de turbiedad:

$$I_{i_{\text{turb}}}: 108 * 1.6^{-0.178} = 99$$



Los valores del ICA se consideran en un intervalo de 0 a 100%: 0%; corresponde a un agua altamente contaminada, 100%; corresponde a un agua con Excelente calidad, citado por Hernández. Esto solo se aplica a los cuerpos de agua dulce por lo tanto es válido para determinar el ICA en el río Magdalena escrito en la tabla 3.4

Tabla 3.4 Criterios de tratamiento según el ICA

USO DE AGUA POTABLE		
%ICA	USO	CRITERIO
90-100	E	No requiere purificación para consumo
80-90	A	Purificación menor requerida
70-80	LC	Dudoso su consumo sin purificación
50-70	C	Tratamiento potabilizador necesario
40-50	FC	Dudosa para consumo
0-40	EC	Inaceptable para consumo
USO AGRICOLA		
90-100	E	No requiere purificación para consumo
70-90	A	Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua
50-70	LC	Utilizable en mayoría de los cultivos
30-50	C	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos
20-30	FC	Uso solo en cultivos muy resistentes
0-20	EC	Inaceptable para riego
USO EN PESCA Y VIDA ACUÁTICA		
70-100	A	Pesca y vida acuática abundante
60-70	E	Límite para peces muy sensitivos
50-60	LC	Dudosa la pesca sin riesgos de salud
40-50	C	Vida acuática limitada a especies muy resistentes
30-40	FC	Inaceptable para actividad pesquera
0-30	EC	Inaceptable para vida acuática



Continuación de la tabla 3.4

USO INDUSTRIAL		
90-100	E	No requiere purificación para consumo
70-90	A	Purificación menor para Industrias que requieran alta calidad de agua para operación
50-70	LC	No requiere tratamiento para la mayoría de las Industrias de operación normal
30-50	C	Tratamiento para mayoría de usos
20-30	FC	Uso restringido en actividades burdas
0-20	EC	Inaceptable para cualquier Industria
USO RECREATIVO		
70-100	E	Cualquier tipo de deporte acuático
50-70	A	Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias
40-50	LC	Dudosa para contacto con el agua
30-40	C	Evitar contacto, sólo con lanchas
20-30	FC	Contaminación visible, evitar cercanía
0-20	EC	Inaceptable para recreación

E= Excelente

A=Aceptable

LC=Levemente Contaminada

C= Contaminada

FC=Fuertemente Contaminada

EC=Excesivamente Contaminada

3.4.2 Análisis fisicoquímico y microbiológico del agua residual en base a normas establecidas.

Se monitoreó cada una de las descargas con gasto constante y se determinó la calidad del agua en base a los parámetros de: DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), pH (Potencial de Hidrógeno), SST (Sólidos Suspendidos Totales), coliformes fecales y coliformes totales. Con sus respectivas normas, descritas en el anexo de normas y técnicas.



3.5. Determinación del gasto.

En cada muestreo de las descargas de agua residual activas se determinó el gasto mediante una medición directa:

$$Q_{\text{gasto}}(\text{L/s}) = V/t$$

V= Volumen (Litros)

t= tiempo (segundos)

La medición se realizó con un vaso de precipitado de un litro y con ayuda de un cronómetro para tomar el tiempo en que se llenaba el vaso de precipitado y posteriormente se hizo la estimación de carga orgánica.

3.6. Estimación de la carga orgánica.

Tradicionalmente, los caudales de aguas residuales se estiman en función de los caudales de abastecimiento de agua. El consumo per cápita mínimo adoptado para el abastecimiento de agua de pequeñas comunidades es de 80 litros por habitante por día.

La relación agua residual/agua indica la relación entre el volumen de las aguas residuales recibido en la red de alcantarillado y el volumen de agua efectivamente proporcionado a la población. La carga orgánica se expresa en kilos de DBO₅ por día y el caudal en L/s ó m³/s y se puede calcular de la siguiente manera:

$$\text{Carga orgánica (Kg/día)} = \frac{\text{Concentración (mg/L)} \times \text{caudal (m}^3\text{/día)}}{10^6 \text{ (mg/kg) (L/m}^3\text{)}}$$

Cuanto mas alta sea la cantidad de materia orgánica contenida en un agua residual mayor será su concentración. Para cuantificar la masa de materia orgánica se utilizan las mediciones de DBO₅ y DQO expresados en mg/L o g/m³.

La concentración del agua residual de una población depende del consumo de agua. En países donde el consumo es elevado, el valor de DBO₅ se ve disminuido (DBO₅ 200 a 250 mg/L) mientras que en países en desarrollo el agua residual contiene valores más concentrados de DBO₅ (400 a 700 mg/L) debido a que el suministro y consumo de agua es menor.



3.7. Propuesta de plantas de tratamiento para el saneamiento del río Magdalena.

Es importante señalar que únicamente se identificaron la localización y el gasto estimado de las plantas de tratamiento indicando los posibles tipos de proceso, sin embargo cada planta requiere en particular de un estudio de pruebas de tratabilidad y posteriormente llevar a cabo el proyecto ejecutivo.

Para realizar la propuesta se tomó como consideración los resultados obtenidos de las descargas de agua residual que vierten directamente al río, esta contaminación se ve reflejada por el ICA del río Magdalena que recibe dichas descargas, tanto la caracterización como la contaminación del gasto aportado por las colectores marginales aledañas al río en las que se observaron fugas. Estos resultados fueron la base para proponer el proceso de tratamiento y el número de plantas de tratamiento de agua residual.

Así también la propuesta de los sistemas de tratamiento dependieron de diversos aspectos:

- Evaluar los terrenos seleccionados. Esto incluye estudios de elevación y topografía, características geológicas e hidrogeológicas del suelo, actividad sísmica, facilidad de comunicación y transportación al sitio, así como la evaluación del impacto ambiental.
- Las condiciones son en el periodo de estiaje y recomendar el estudio en época de lluvia para que sea más completo el estudio de este trabajo.
- Se considera agua residual doméstica porque en el agua residual se encontró una concentración de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno al Quinto día) y DQO (Demanda de Química de Oxígeno) que representa un agua residual doméstica típica. Pero es importante que se controlen los aportes industriales conteniendo metales pesados, fenoles, virus, o bacterias patógenas resistentes, porque considerar dichas aportaciones implicaría la utilización de sistemas de tratamiento avanzados, Así también se debe controlar la aportación de clínicas y hospitales que contribuyan con contaminantes biológico-infecciosos como microorganismos patógenos resistentes. No se considera el aumento de población dramáticamente en los próximos años debido a que las capacidades serían rebasadas.
- El gasto estimado, se calculo con la siguiente ecuación:

$$Q = 0.8 * 150L/HAB/DIA * \text{Número de habitantes}$$



CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Los resultados encontrados en este presente trabajo fueron los siguientes:

4.1. Resultados de la localización geográfica de los puntos de muestreo de agua superficial y residual de las descargas activas con ayuda de un GPS (Sistema de Posicionamiento Global).

Los sitios de muestreo de agua superficial seleccionados fueron 19, los cuales se presentan en la tabla 4.1 con sus respectivas coordenadas GPS.

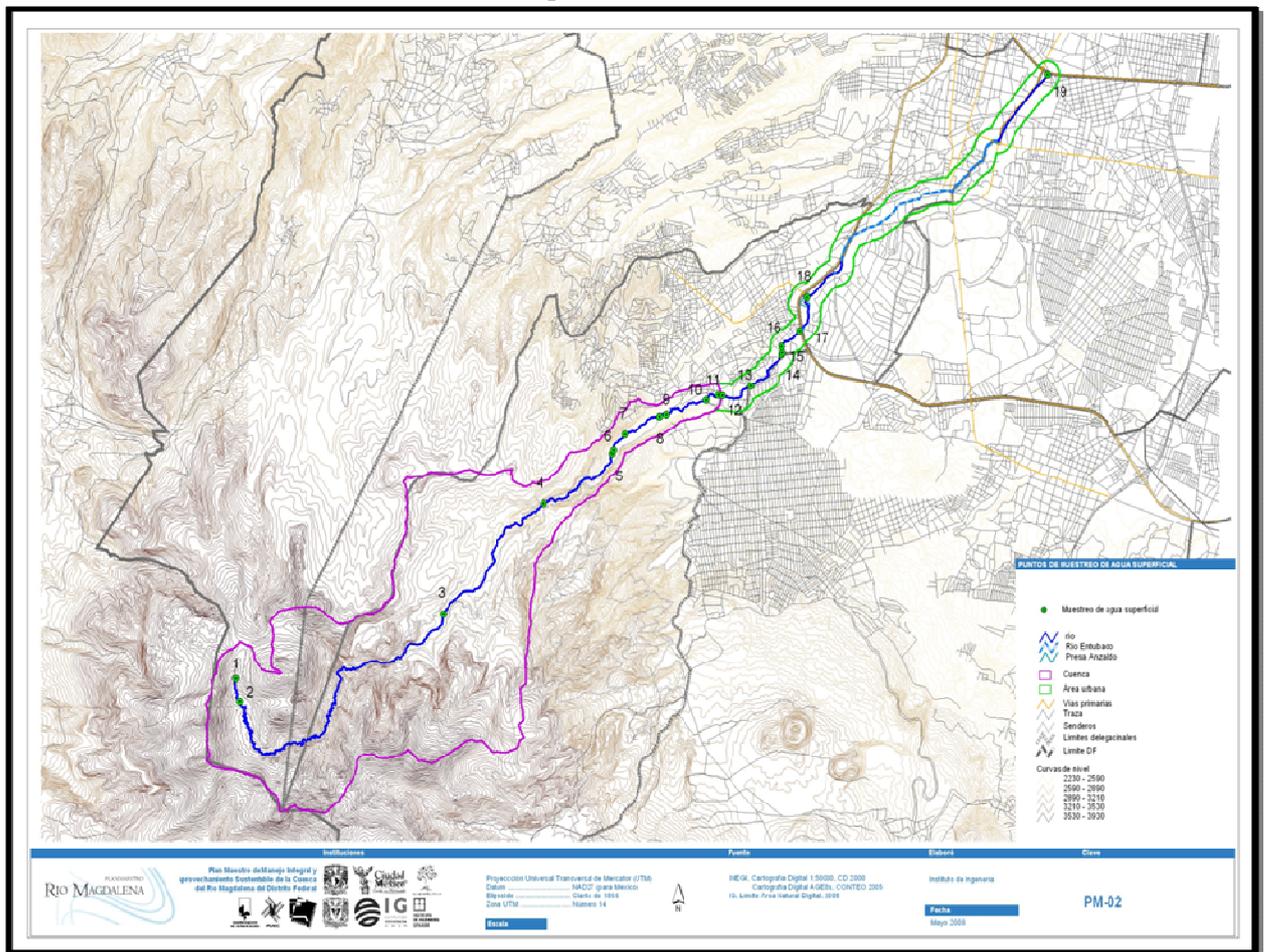
Tabla 4.1. Coordenadas GPS de los 19 sitios de muestreo de agua superficial.

PUNTOS DE MUESTREO	COORDENADAS GPS
1. Nacimiento del río	N 19°14'.649'', W 99°19'.961''
2.- Primer presa de concreto Cieneguillas	N 19°14'.596'', W 99°19'.917''
3.- Cuarto dinamo	N 19°15'.935'', W 99°17'.653''
4.- Atlitic. Al final de la comunidad	N 19°17'.100'', W 99°16'.394''
5.- Zona de captación de la planta potabilizadora	N 19°17'.20.93'', W 99°15'.88''
6.- Después de la primera planta potabilizadora	N 19°17'.369'', W99°15'.889''
7.- Antes de la zona de captación de la nueva planta potabilizadora. La Cañada	N 19°17'.990'', W 99°15'.048''
8.- Después de la nueva planta potabilizadora	N 19°18'.033'', W 99°14'.885''
9.- Boulevard Benito Juárez. A un lado de la estación de autobuses	N 19°18'0.93'', W 99°14'53.45''
10.- A un lado de la ciclopista y el deportivo primero de Mayo	N 19°18'.221'', W 99°14'.235''
11.- Antes del río Eslava	N 19°18'.208'', W 99°14'.235''
12.- Después del río Eslava	N 19°18'.227'', W99°14'.242''
13.- Foro Cultural	N 19°18'.258'', W 99°13'.983''
14.- Block Buster	N 19°18'.618'', W 99°13'.495''
15.- Callejón río Magdalena	N 19°18'.709'', W 99°13'.496''
16.- Final del callejón río Magdalena	N 19°18'.654'', W 99°13'.4841''

17.- Atrás del hotel Camino Real del pedregal, bajando por Nayarit (cerca de periférico)	N 19°18'.893'', W 99°13'.277''
18 Presa Anzaldo	N 19°19'.233'', W 99°13'.173''
19.- Avenida Churubusco y Avenida Coyoacán	N 19°21'.203'', W 99°10'.527''

Las coordenadas GPS permiten mayor facilidad en la ubicación de los 19 sitios de muestreo y se representan con un mapa base del río Magdalena que se representa en la figura 4.1.

Figura 4.1. Mapa de ubicación de los 19 sitios de muestreo para agua superficial



En el mapa de la figura 4.1 se representa gráficamente la ubicación los sitios de muestreo de agua superficial, desde el nacimiento y hasta donde desemboca el río, cada uno situado en puntos estratégicos con la finalidad de abarcar todo el cauce.



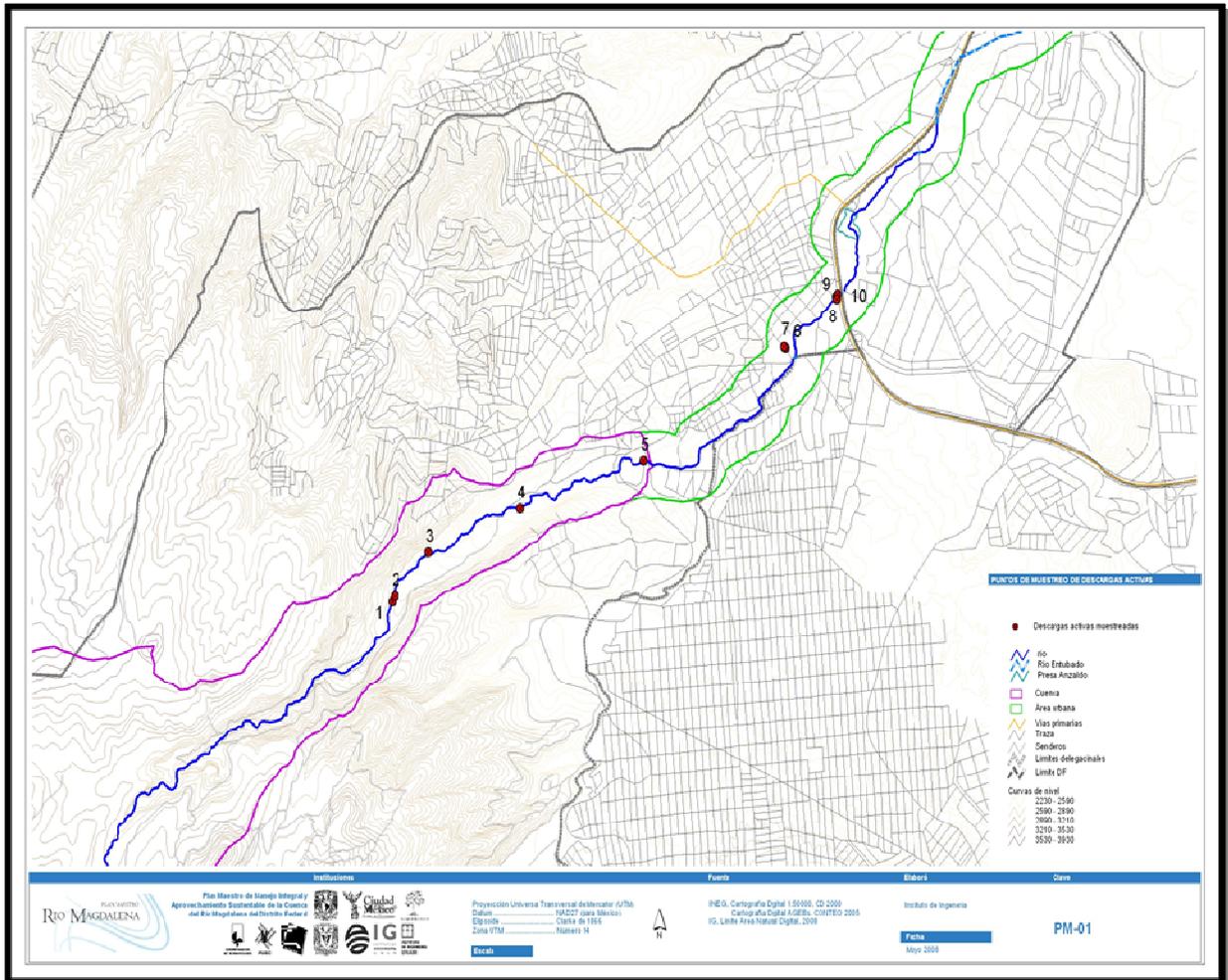
Se localizaron 10 sitios de muestreo de agua residual (descargas) los cuales se presentan en la tabla 4.2 con sus respectivas coordenadas GPS.

Tabla 4.2. Coordenadas GPS de los 10 sitios de muestreo de agua residual

PUNTOS DE MUESTREO	COORDENADAS GPS
1.- Planta potabilizadora lado izquierdo	N 19°17'.394'', W 99°15'.858''
2.- Planta potabilizadora lado derecho	N 19°17'.36'', W 99°15'.87''
3.- Después de la nueva planta potabilizadora	N 19°18'.033'', W 99°18'.890''
4.- Boulevard Benito Juárez	N 19°18'.093'', W 99°14'.53.45''
5.- Edificio CISEN	N 19°18'.208'', W 99°14'.22''
6.- Colector Avenida Santa Teresa un tubo	N 19°18'.227'', W 99°14'.242''
7.- Colector Avenida Santa Teresa Dos tubos	N 19°18'.708'', W 99°13'.553''
8.- Detrás del Hotel Camino Real	N 19°18'.703'', W 99°13'.548''
9.- Detrás del Hotel Camino Real	N 19°18'.894'', W 99°13'.272''
10.- Detrás del Hotel Camino Real	N 19°18'.894'', W 99°13'.263''

Las coordenadas GPS permiten mayor facilidad en la ubicación de los sitios de muestreo y se representan con un mapa base del río Magdalena que se representa en la figura 4.2.

Figura 4.2. Mapa de ubicación de los 10 sitios de muestreo de agua residual



En el mapa de la figura 4.2 se ubicaron 10 sitios de muestreo seleccionados de agua residual, estos sitios son las descargas de agua residual activas que se vierten en el río, los cuales están representados en este mapa.

4.2 . Resultados del inventario de descargas de agua residual activas y no activas del río Magdalena.

En el río Magdalena se contabilizaron 60 descargas, de las cuales 10 presentaron gasto constante. Estas descargas presentaron características diferentes en cuanto a origen, material y gasto presentado. Otra aportación muy importante de agua residual al río Magdalena es la del río Eslava, la cual aunque no es considerada como descarga sino como



corriente hidrológica, es una fuente de elevada contaminación. En la tabla 4.3 se describen las 60 descargas encontradas con la ubicación, tipo de descarga, tipo de tubo, si presenta o no gasto y observaciones.

Tabla 4.3 Inventario de las descargas de agua residual activas y no activas observadas.

No.	Ubicación	Tipo de descarga	Tipo de tubo	Gasto	Observaciones
1	CARM	Desconocida	Concreto	Sí	Agua transparente
2	CARM	Desconocida	Concreto	Sí	Agua transparente
3-4	CMRM	Parecen de lluvia	PVC	No	Inactivas
5	CMRM	Drenaje	PVC	Sí	Poco caudal
6-7	CMRM	Desconocida	Concreto	No	Inactivas
8	CMRM	Drenaje	Concreto	Sí	Poco caudal
9-10	CMRM	Desconocida	Plástico negro	No	Inactivas
11	CMRM	Drenaje	Concreto	Sí	Agua turbia y de mal olor
12	CMRM	Desconocida	Concreto	Si	Agua turbia y de mal olor
13	CMRM	Desconocida	PVC	No	Inactivas
14-19	CMRM	Parecen de lluvia	PVC	No	Inactivas
20-21	CMRM	Desconocida	PVC	No	Inactivas
22-23	CMRM	Municipal	Concreto	Sí	Agua residual
24-55	CMRM	Casas/drenaje	PVC	No	Inactivas
56-57	CMRM	Casas	PVC	No	Inactivas
58-60	CMRM	Drenaje marginal	Concreto	Si	Abundante caudal de agua residual
60	TOTAL				

CARM= Cuenca Arriba del Río Magdalena
 CMRM=Cuenca Media del Río Magdalena

Las 10 descargas de agua residual activas se describen a continuación en las figuras 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 y 4.12

Las descargas activas provenientes de la primera planta potabilizadora ubicada en el primer Dinamo (descargas 1 y 2) figuras 4.3 y 4.4 son descargas de agua de lavado del sistema de filtración del tren de potabilización.



Figura 4.3. Descarga 1. Proveniente de la planta potabilizadora (izquierda).



Figura 4.4. Descarga 2. Proveniente de la planta potabilizadora (derecha).

La descarga ubicada antes del callejón de las Moras sobre el río Magdalena (descarga 3) figura 4.5 es un aporte constante de agua caracterizada como residual, así como la descarga de agua residual ubicada en el Boulevard Juárez (descarga 4) figura 4.6.



Figura 4.5. Descarga 3. Doméstica.



Figura 4.6. Descarga 4. A un lado de la estación de autobuses

Para la descarga 5 figura 4.7 ubicada en el edificio perteneciente a las instalaciones gubernamentales del CISEN, se caracterizó como agua residual doméstica.



Figura 4.7. Descarga 5. Edificio del CISEN.

Las descargas 6 y 7 figuras 4.8 y 4.9 son descargas del colector Avenida México. Estas descargas no vierten directamente al río Magdalena sin embargo vierten parcialmente en el drenaje marginal del río Magdalena.



Figura 4.8. Descarga 6. Colector Av. Sta. Teresa / Av. México



Figura 4.9. Descarga 7. Colector Av. Sta. Teresa / Av. México.

Las descargas 8 y 9 figuras 4.10 y 4.11, ubicadas en el callejón Nayarit provienen del sistema de drenaje que da servicio a las colonias aledañas.



Figura 4.10. Descarga 8.

Drenaje servicio a la comunidad



Figura 4.11 Descarga 9.

Drenaje servicio a la comunidad

La descarga 10 figura 4.12 está ubicada en el callejón Nayarit atrás del hotel Camino Real proviene del drenaje marginal que viene desde arriba de donde inicia el drenaje marginal.



Figura 4.12. Descarga 10. Drenaje marginal atrás del hotel Camino Real.

4.3. Resultados de la evaluación de la calidad del agua mediante el análisis fisicoquímico y microbiológico del agua superficial y residual en base a normas establecidas.

La evaluación de la calidad del agua superficial se presenta en la tabla 4.4 con los resultados obtenidos en los 6 muestreos. La calidad del agua fue evaluada de acuerdo a 15 parámetros.

Tabla 4.4 Resultados promedio de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua superficial

Sitio	T	pH	Turbiedad	SST	SDT	DBO ₅	OD	PT	N-NO ₃	G y A	SAAM	Conductividad	N-NH ₃	CT	CF
	* C		UTN	mg/L	mg/L	mg/L	%	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µS/cm	mg/L	UFC/100mL	UFC/100mL
1	8.0	7.2	1.6	15.3	39.2	2.4	95.7	0	0.9	5.0	0.5	76.7	0.1	4.54E+01	2.63E+01
2	8.3	7.5	2.1	16.7	34.1	6	92.1	0.4	1.3	5.0	0.5	72.0	0.1	2.20E+00	1.60E+00
3	8.5	7.6	0.4	11.7	36.5	2.9	91.9	0.1	0.6	5.0	0.5	70.0	0.1	2.23E+01	2.26E+01
4	10.17	7.8	0.6	9.8	41.9	2.6	92.8	0.2	0.8	6.0	0.5	83.3	0.1	3.00E+02	1.96E+02
5	11.1	7.8	0.4	10.9	42.5	2.9	93.6	0	1.0	7.0	0.5	89.0	0.1	2.00E+02	5.68E+01
6	12.0	7.9	3.3	12	44.6	3.1	92.6	0.1	1.0	9.0	0.5	93.0	0.1	3.00E+03	4.45E+01
7	13.3	7.8	1.6	16.9	43.8	3.4	93.2	0.1	4.3	8.0	0.5	98.0	0.1	1.00E+04	9.40E+02
8	8.9	7.6	8.4	11.4	61.1	3.4	92.7	0	4.55	8.0	0.5	2000	0.1	2.00E+04	3.46E+03
9	10.4	7.7	12.6	25.7	82.5	8.9	86.6	0.9	4.8	12.0	0.9	1733	4.0	9.00E+06	1.73E+06
10	11.5	7.5	26	57.8	155.4	23.7	78.3	2.7	7.45	29.0	3.7	3100	22.4	1.00E+07	7.93E+06
11	13.0	7.7	33.2	54.8	162	23.1	68.2	2.7	7.7	54.0	5.1	3300	22.3	1.00E+07	5.64E+06
12	13.1	7.6	30.6	54.8	167.2	23.4	68.6	2.5	7.35	47.0	5.3	3270	10.5	2.00E+07	6.00E+06
13	12.9	7.6	21.8	48.7	158.2	19.7	62.3	2.3	14.1	55.0	3.6	316.7	21.1	1.00E+07	2.25E+06
14	11.9	7.4	20.1	32.4	147.4	12.5	62.6	1.5	6.8	43.0	2.6	294.0	14.6	1.00E+07	4.06E+06
15	14.3	7.6	61.8	86.1	293	35	60	6.4	18.9	45.0	11.3	4800	33.1	2.00E+07	1.57E+07
16	14.2	7.5	82.4	117.7	292	48	68.3	4.8	20.5	53.0	11.3	5823	37.6	4.00E+07	1.56E+07
17	16.9	7.6	125.4	139.7	314.7	53	22	7.1	15.8	57.0	12.7	6233	37.0	3.00E+07	2.58E+07
18	19.1	7.6	183.9	136	363.3	54.2	11	6.3	15.4	49.0	12.4	726.7	39.0	4.00E+07	1.63E+07
19	19.9	7.5	57.4	85.3	328.7	34.5	9	4	17.5	50.0	7.5	6533	28.3	3.00E+07	2.40E+07

Nota: La descripción de los sitios se describen en la tabla 4.1.

Los parámetros evaluados permitieron calcular el ICA mostrados en las tablas 4.5 y 4.6 que determinaron la calidad del agua de cada uno de los sitios seleccionados.



Tabla 4.5 Resultado de los Índices individuales de cada variable en cada estación muestreada

Variable	Wi	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19
OD	5	96	92	92	93	94	93	93	93	87	78	68	69	62	63	60	68	22	11	9
pH	1	100	100	99	86	89	82	86	100	95	100	93	98	96	100	99	100	100	100	100
Conductividad	2	100	100	100	100	99	97	95	72	77	61	60	60	61	63	52	48	47	44	46
Turbiedad	0,5	99	95	100	100	100	87	99	74	69	60	58	59	62	63	52	49	46	43	53
DBO ₅	5	67	36	59	64	59	56	53	53	28	14	14	14	16	22	11	9	8	8	11
GyA	2	100	100	100	100	100	100	100	47	42	30	27	28	26	28	28	27	26	27	27
CF	4	100	100	100	15	100	100	10	7	1,3	0,9	0,9	0,9	1,2	1	0,7	0,7	0,6	0,7	0,6
CT	3	100	100	100	21	15	11	8	7	1,3	1,3	0,9	1	1,3	0,8	1	0,9	0,9	0,9	0,6
PT	2	100	54	100	70	100	100	100	100	36	22	22	23	23	28	15	17	14	15	18
SST	1	97	94	100	100	100	100	94	100	80	59	61	61	63	74	51	46	43	43	51
SAAM	3	99	99	99	99	99	99	99	92	86	41	19	17	42	58	0	0	0	0	0
NO ₃	2	100	100	100	100	100	100	98	96	95	81	81	82	65	84	59	58	63	63	61
NH ₄	2	100	100	100	100	100	100	100	100	28	16	16	20	16	18	14	13	13	13	15
SDT	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: Flores, 2008. Wi= Factor de ponderación, E= Estaciones de muestreo o sitios de muestreo

Tabla 4.6 Suma de las variables en cada estación para finalmente para obtener el Índice de calidad del agua

Variable	Wi	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19
OD	5	480	460	460	464	468	463	430	463	433	391	341	343	311	313	300	342	110	37	47
pH	1	100	100	99	86	89	82	86	100	95	100	93	98	96	100	99	100	100	100	100
Conductividad	2	200	200	200	200	197	194	190	145	153	123	120	120	122	125	104	97	94	89	93
Turbiedad	0,5	50	48	50	50	50	44	50	37	34	30	29	29	31	32	26	25	23	21	26
DBO ₅	5	333	179	293	318	293	282	263	265	138	71	72	72	81	109	55	44	42	33	55
GyA	2	200	200	200	200	200	200	200	94	83	64	53	55	53	57	56	53	52	55	54
CF	4	400	400	400	61	400	400	40	28	5	3	4	4	5	4	3	2	3	3	3
CT	3	300	300	300	63	45	34	24	21	4	4	3	3	4	2	3	3	3	3	2
PT	2	200	108	200	140	200	200	200	200	71	43	44	45	47	57	29	33	28	29	36
SST	1	97	94	100	100	100	100	94	100	80	59	61	61	63	74	51	46	43	43	51
SAAM	3	297	297	297	297	297	297	297	275	258	124	57	50	126	173	0	0	0	0	0
NO ₃	2	200	200	198	200	200	198	197	193	172	163	161	34	131	168	0	115	126	0	122
NH ₄	2	200	200	200	200	200	200	200	200	57	32	32	41	32	37	28	26	27	26	29
SDT	0,5	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Σ	33	3107	2863	3047	2430	2789	2744	2321	2171	1633	1238	1119	1005	1151	1301	1004	936	699	508	669
ICA	%	94	86	92	74	85	83	70	66	49	38	34	30	35	39	30	28	21	15	20

Fuente: Flores, 2008. Wi= Factor de ponderación, E= Estaciones de muestreo o sitios de muestreo



En el sitio 1 (nacimiento del río) y el sitio 3 (cuarto dinamo), el agua presenta un %ICA 94 y 92 que es de “excelente calidad” para cualquier uso de acuerdo al ICA. A pesar de que el agua es de excelente calidad, para consumo humano necesita previo tratamiento, ya que no cumple con la NOM-127-SSA-1994, la cual estipula que los CF y CT deben estar ausentes en el agua. Esta clasificación se determinó de acuerdo a los 15 parámetros evaluados enlistados en la tabla 4.4.

Los sitios 2 (primera presa), 5 (captación planta potabilizadora) y 6 (después de la planta potabilizadora); presentan un %ICA de 86, 85 y 83% esto quiere decir que la calidad de agua es “aceptable” se sugiere un proceso de purificación requerida para uso en consumo humano.

Los sitios 4 (Atlitic. Al final de la comunidad) y 7 (Antes de la zona de captación de la nueva planta potabilizadora “La Cañada”) , el ICA es de 74 y 71% presentan un deterioro. La calidad el agua, evaluada fue “levemente contaminada”, lo que quiere decir dudoso para consumo humano sin purificación. El sitio 4 en particular, se localiza al final de la comunidad de Atlitic, cuya fuente principal de ingreso es el comercio de alimentos para el turismo.

Es una zona muy visitada para disfrutar del río Magdalena y su población obtiene ingresos de la venta de quesadillas y truchas. La comunidad aprovecha los múltiples nacimientos de agua que rodean al río, la cual es distribuida hasta sus hogares por medio de mangueras de plástico y tubos de PVC. El agua extraída sirve para mantener a los trucheros que hay en cada vivienda que se dedica al comercio de truchas.

Debido a que las viviendas de esta comunidad, se encuentran asentadas a distancias no mayores a 10 metros en los márgenes del río, el deterioro en la calidad del agua puede deberse al uso de las fosas sépticas que cada familia tiene en su terreno. Dependiendo del tiempo de uso y el grado de deterioro de las fosas sépticas, éstas pueden permitir la infiltración, así como presentar fugas hacia los alrededores, que pueden deteriorar al río Magdalena.

La calidad del agua continúa deteriorándose, ya que en el sitio número 8 (ubicado después de la nueva planta potabilizadora) el ICA es de 66% eso quiere decir que la calidad de agua es “contaminada”, lo que significa que es necesario un tratamiento potabilizador. En el sitio 9 (ubicado a un lado de la estación de autobuses) el ICA es de 49% el agua en este sitio disminuye enormemente la calidad del agua es “fuertemente contaminada” lo que implica que su consumo es dudoso. En este sitio se observó una fuga de drenaje proveniente del sistema de drenaje marginal del río Magdalena, la cual se encuentra



localizada justo debajo del río, además se puede apreciar el aporte constante de dicha fuga a simple vista. También en éste punto se observaron descargas directas al río provenientes de tubos de drenaje.

Del sitio 10 al 19, desde el deportivo “Primero de Mayo” hasta río Churubusco, su ICA es de 38, 34, 30, 35, 39, 30, 28, 21, 15 y 20% respectivamente, lo quiere decir que la calidad del agua para consumo humano es inaceptable ya que se encuentra “contaminada en exceso”.

Lo señalado en el párrafo anterior corrobora que la degradación de la calidad del agua en esta zona se debe a la presencia de aguas residuales provenientes de fugas en el sistema de drenaje marginal del río Magdalena. A esto se suma que es la zona en donde hay mayor presencia de descargas de diversa índole, que vierten directamente hacia el río y que son las que aportan gasto (tabla 4.8).

A continuación se menciona los parámetros que cambiaron drásticamente en la evaluación de la calidad del río Magdalena (Flores, 2008).

Los valores de temperatura ambiente en las estaciones de muestreo E1 a E3 aumentan ligeramente, en las estaciones de muestreo E4 a E7 el aumento es más significativo, esto puede explicarse ya que se presentan dos descargas importantes de la planta potabilizadora, a partir de la estación E8 la temperatura va incrementando conforme el río se acerca a la zona urbana, en las últimas estaciones de muestreo se observa un aumento mucho mayor, esto está asociado a que la temperatura depende de muchos factores como: la altitud, la hora del día, la circulación del aire, la nubosidad, el flujo y la profundidad del río, pero sobre todo de las descargas que llegan en estos puntos que tienen un mayor caudal.

El %OD en los sitios de muestreo E1 a E7 se encuentra dentro de los niveles normales de aguas superficiales no contaminadas. A partir de la estación de la estación E8 comienza a decaer el % de OD en el río hasta la estación E16 donde se aumenta ligeramente, esto puede deberse a que en esta parte el ancho del río se reduce y con ello aumenta la aireación, por lo tanto aumenta la cantidad de OD, en la estación 17 el OD disminuye drásticamente, el nivel bajo de OD en estas estaciones indica que existe una demanda de oxígeno en el sistema. Los contaminantes que llegan a éste río incluyendo los desagües y la materia en descomposición causan tal demanda. La materia acumulada en los sedimentos y los organismos de soporte, consume oxígeno a medida que descomponen los materiales, por lo que el OD disminuye.



A pesar de que los sistemas naturales se ven afectados principalmente por la geología del área, en el caso del río Magdalena se observa un comportamiento similar de conductividad en las estaciones E1 a E7, la conductividad es afectada tanto por la temperatura y la geología por la cual pasa el agua. En estas estaciones la conductividad es buena, es indicativo de que el agua no está contaminada. Sin embargo en la estación 8 hay un incremento significativo con respecto a las estaciones anteriores, esto se puede correlacionar con las descargas que se localizan en este sitio. A partir de ésta estación hay un incremento en la conductividad, en la estación 18 se obtuvo la mayor conductividad (726.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$) este valor rebasa los niveles normales de un agua no contaminada, esto puede explicarse ya que el agua en esta zona está contaminada, esto puede explicarse ya que ésta estación se localiza en la presa Anzaldo, aquí el río Magdalena se une con otros ríos que por su grado de contaminación presenta valores más altos de conductividad.

El material en suspensión es el responsable de la turbiedad del agua, en las estaciones E1 a E7 observamos una turbiedad menor a 4 UTN, son valores normales en agua no contaminada, a partir de la estación 8 apreciamos que la turbiedad va aumentando, con ello el deterioro del agua del río, de la misma manera que para conductividad la estación 18 presenta el mayor valor de turbiedad 183 UTN, en esta zona el agua está contaminada.

Los valores de grasas y aceites varían desde 0 a 57 mg/L, en las estaciones E1 a E8 se obtuvieron valores que normalmente presentan aguas no contaminadas. A pesar de que este parámetro no es considerado como obligatorio dentro del ICA; resultan preocupantes los valores encontrados en el agua a partir de la estación 10 (28mg/L), ya que este aumento se debe a las descargas que hay en el área urbana, en esta zona no se cumple con los límites máximos permisibles para contaminantes básicos en un río (NOM-001-SEMARNAT-1996). Por lo que se considera que el agua es de mala calidad a partir de la estación 10.

Todos los puntos ubicados en la zona rural presentan niveles normales de tensoactivos (0.5mg/L) para aguas no contaminadas, posteriormente la cantidad de SAAM fue aumentando su concentración de acuerdo a la circulación del agua y presentaron valores más altos a partir de la estación 15. Generalmente estos valores se encuentran en aguas de desecho doméstico o municipal que se vierten al río sin previo tratamiento.

Los valores de SDT y SST, al igual que los parámetros anteriores, las estaciones E1 a E8, presentan valores normales para aguas no contaminadas, el problema grave comienza en la zona urbana, en los cuales los niveles de sólidos totales aumentan con ello se deteriora la calidad del agua, ya que estos niveles bloquean la luz del sol, tapan las branquias de los peces, como resultado hay muerte de la vida acuática. En el área natural niveles altos de



sólidos totales se pueden deber al deterioro de la tierra. Entre las posibilidades se pueden mencionar áreas de siembra, ganado actividad forestal, construcción de caminos etc.

En la Estación 9 se observa que empiezan aumentar los sólidos totales (SDT y SST), esta variación se debe a muchas causas, como antes ya se a mencionado la principal causa de éste incremento son las descargas. El resultado concuerda con los valores de turbiedad, a mayor turbiedad mayor es la cantidad de sólidos totales.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las muestras de agua, se tiene que los Coliformes Fecales y Totales rebasaron el límite permisible de la NOM-127-SSA-1994, a pesar de ello las estaciones E1 a E3 tienen límites de una agua natural, la calidad del agua es excelente, sin embargo en la estación cuatro hay un aumento de microorganismos patógenos, esto se correlaciona a que se localizan asentamientos urbanos en una población que se llama “Atlitic”. El aumento de CF y CT se debe a las descargas del drenaje hacia al río, también se relaciona con la cantidad de nutrientes, esto estimula el crecimiento de los microorganismos.

En la tabla 4.7 se enlistan los 6 parámetros considerados para evaluar la calidad del agua en los sitios de agua residual (descargas).

Tabla 4.7 Resultados promedio de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las descargas de agua residual

Parámetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH	7.8	7.7	7.8	8.4	8.1	7.5	7.3	7.5	7.9	7.8
DQO (mg/L)	28	27.3	284.3	867.5	431	382	355.5	312.8	300.8	594.8
DBO ₅ (mg/L)	9.4	9.4	146	250	165	189.5	181.6	140.5	149	268.8
SST (mg/L)	31.3	25.4	140	115	172.5	195	185.8	178.5	131	376.5
Coliformes Totales (UFC/100 mL)	0	0	5.25E+07	6.67E+07	4.80E+07	5.90E+07	5.40E+07	3.40E+07	3.10E+07	5.80E+07
Coliformes Fecales (UFC/100 mL)	0	0	3.77E+07	9.95E+05	2.70E+07	3.90E+07	2.40E+07	1.30E+07	1.00E+07	2.50E+07

Los muestreos y la caracterización del agua residual a tratar realizados en éste estudio, permitieron establecer que el agua residual es de tipo doméstico. Es decir, que los valores promedio de las concentraciones se encuentran entre los 100 a 350 mg/L para la DBO₅ y entre 250 a 1000 mg/L para la DQO, valores que se indican dentro de la bibliografía (Metcalf y Eddy 1996).



4.4. Resultados de la determinación del gasto.

Tabla 4.8 Resultados de la determinación de gastos promedios de agua residual

Descarga	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gasto L/s	1.4	0.7	0.0008	1.2	0.7	7.8	7.1	0.8	3.7	34.5

Los gastos medidos no fueron muy elevados en las descargas 1, 2, 3, 4, 5 y 8 pero si son de suma importancia evitarlas para que la calidad del agua en el río Magdalena no tenga deterioro, las descargas 6, 7, 9 y 10 presentaron un gasto mayor, en campo se observó que todas las descargas de agua residual que se incorporan al cauce se pueden evitar, conectándolas al drenaje marginal.

4.5. Resultados de la estimación de carga orgánica

Tabla 4.9 Resultados de la estimación de carga orgánica

Descarga	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aporte Orgánico Kg/día	1.2	0.6	0.01	57.5	9.7	127.7	111.9	9.3	48.1	801.2

La estimación de carga orgánica de la descarga 1, 2, 3 fueron valores bajos por el resultado del gasto y la DBO₅, pero las demás descargas se encontró una estimación mayor por su respectivos gastos y DBO₅, como en la descarga 4 el gasto fue menor pero la DBO₅ tuvo un valor grande, por ello la estimación es elevada esto quiere decir que la concentración de materia orgánica es mayor.

4.6. Resultados de la propuesta plantas de tratamiento para el saneamiento del río Magdalena

Se propusieron ocho plantas de tratamiento de agua residual tabla 4.10 para mejorar la calidad del agua del río Magdalena, la cual ha sido deteriorada por las aportaciones de agua residual que son provenientes principalmente de colectores marginales y la red de drenaje debido al deterioro y las fugas que presentan, para evitar que el agua residual sea descargada en el río, se tratará el agua residual en las plantas de tratamiento. De esta forma se producirán recursos hídricos adicionales (agua tratada) para uso en riego de áreas verdes, y principalmente para mantener el gasto del río.

- Se atenderán 13 tramos de colectores desde la Calle de la Cañada hasta el Centro Comercial San Jerónimo, figura 4.13.
- Se logrará que prácticamente el 100% de las aguas residuales que actualmente se descargan sean tratadas antes de ser vertidas al cauce con el fin de garantizar un caudal básico en época de estiaje.



Figura 4.13 Colector Marginal

Fuente: Instituto de Ingeniería Área Ingeniería Hidráulica

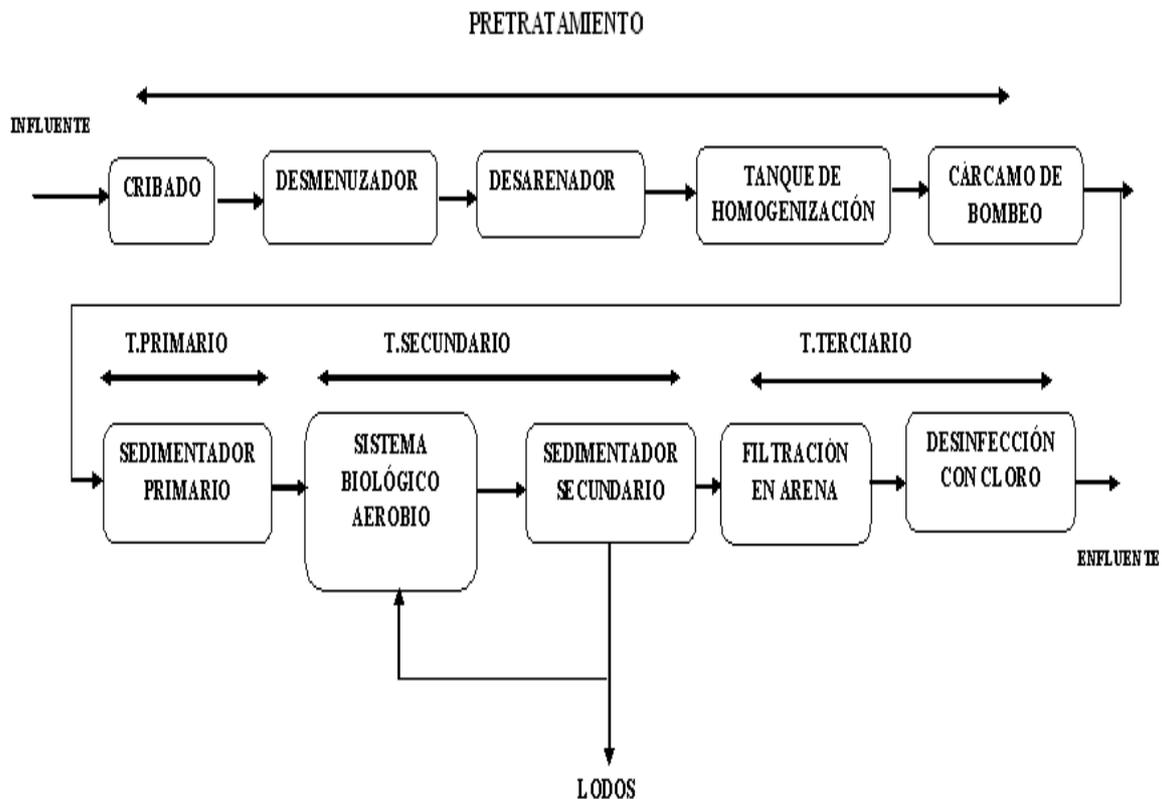


Tabla 4.10. Propuesta de las ocho plantas de tratamiento para el saneamiento del río Magdalena

Planta	Nombre	Ubicación (descripción)	Coordenadas UTM	Capacidad
1	La Cañada	A un lado de la nueva planta potabilizadora.	473799 2133890	20 L/s
2	Boulevard Benito Juárez	Predio particular (Jardín de eventos).	474043 2133923	20 L/s
3	Parroquia	Estación de autobuses	474269 2134020	20 L/s
4	Nogales	Entre las calles Tinaco y Nogales. Antes del río Eslava.	475059 2134231	20 L/s
5	Pedregal lago	Entre el Block Buster de Av. Sta. Teresa y Av. México y el Río Magdalena.	476431 2134946	30 L/s
6	Cerrada de Hidalgo	Entre las calles Teximacoya Durango y Cerrada Hidalgo.	475918 2135148	30 L/s
7	Camino Real	Atrás del Hotel Camino Real, bajando por la calle de Yucatán.	476807 2135460	10 L/s
8	Panzacola	Entre la Av. Miguel Ángel de Quevedo y Av. Universidad (detrás del banco Banamex).	480979 2139115	200 L/s

Las plantas de tratamiento propuestas pueden utilizar un sistema de tratamiento biológico o fisicoquímico. El sistema a utilizar depende de diversos aspectos entre los que están: disposición del terreno, variación estacional de la calidad del agua, oferta y demanda de la cantidad y calidad de agua generada, entre otros. En las siguientes figuras 4.13 y 4.14 describen las operaciones unitarias de los sistemas de tratamiento que se pueden utilizar en las plantas de tratamiento propuestas:

Figura 4.14 DIAGRAMA DE OPERACIONES UNITARIAS DE UN SISTEMA BIOLÓGICO



CRIBADO O DESBASTO: Se emplea para reducir los materiales en suspensión de gran tamaño por medio de rejillas.

DESMENUZADOR: Son molinos, cortadoras y trituradoras que interceptan sólidos grandes para molerlos o cortarlos en pedazos más pequeños y uniformes y luego regresarlos a la corriente para su remoción posterior.

DESARENADOR: La unidad desarenadora se utiliza para remover sólidos inorgánicos sólidos inorgánicos pesados; el material que elimina puede dañar las partes mecánicas de la planta de tratamiento.

TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN: Se utiliza para: (a) aminorar las variaciones de ciertas corrientes de aguas residuales y conseguir una corriente mezclada, con un caudal relativamente constante a la entrada de la planta de tratamiento y (b) para atenuar las variaciones de la carga orgánica del influente a los procesos de tratamiento.



SEDIMENTADOR PRIMARIO: Separa las partículas suspendidas del agua que tienden a decantar bajo condiciones de reposo.

SISTEMA BIOLÓGICO AEROBIO: Es donde se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica.

SEDIMENTADOR SECUNDARIO: Es donde se lleva a cabo la suspensión microbiana (lodos activados) que sale del tanque aireado junto con el agua tratada sedimentada para producir un efluente relativamente claro. Los lodos activados sedimentados se dividen en dos corrientes: 1.- Recirculación al sistema biológico aerobio para mantener la biomasa necesaria dentro del sistema, 2.- Purga, que corresponde al crecimiento neto de la biomasa (lodos). Dicha biomasa debe ser extraída para evitar su acumulación.

FILTRACIÓN: Operación en donde se eliminan constituyentes que son nutrientes, los excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión.

DESINFECCIÓN: Es la etapa final del sistema de tratamiento en donde se desinfecta adicionando cloro.

Los tratamientos de tipo biológico son utilizados cuando los contaminantes principales son de naturaleza orgánica biodegradable.

En este sistema se utiliza un tratamiento químico complementario (desinfección), a la salida del efluente para la eliminación de patógenos.

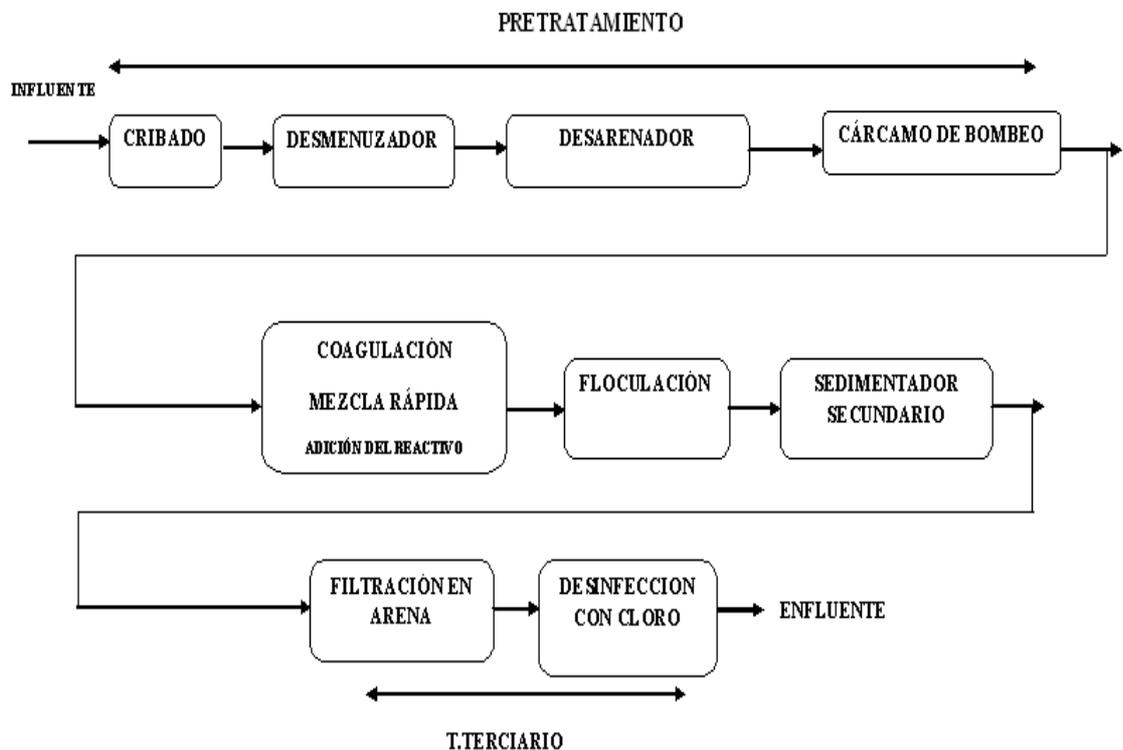
VENTAJAS

- Menor costo comparado a un fisicoquímico.
- Alta eficiencia de remoción.

DESVENTAJAS

- Generación de malos olores.
- Se recomienda para drenaje que no sea mixto.

Figura 4.15 DIAGRAMA DE OPERACIONES UNITARIAS DE UN SISTEMA FISICOQUÍMICO



CRIBADO O DESBASTO: Se emplea para reducir los materiales en suspensión de gran tamaño por medio de rejillas.

DESMENUZADOR: Son molinos, cortadoras y trituradoras que interceptan sólidos grandes para molerlos o cortarlos en pedazos más pequeños y uniformes y luego regresarlos a la corriente para su remoción posterior.

DESARENADOR: La unidad desarenadora se utiliza para remover sólidos inorgánicos sólidos inorgánicos pesados; el material que elimina puede dañar las partes mecánicas de la planta de tratamiento.



COAGULACIÓN MEZCLA RÁPIDA: Se efectúa una mezcla rápida para dispersar el coagulante y favorecer el contacto con el agua para desestabilizar a las partículas coloidales.

FLOCULACIÓN: Se efectúa una mezcla lenta con la finalidad de promover la formación de flóculos a partir de la colisión de las partículas desestabilizadas.

SEDIMENTADOR SECUNDARIO: Aquí el agua tratada sedimenta para producir un efluente relativamente claro y disminuir la producción de lodos.

FILTRACIÓN: Operación en donde se eliminan constituyentes que son nutrientes, los excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión.

DESINFECCIÓN: Es la etapa final del sistema de tratamiento en donde se desinfecta adicionando cloro.

VENTAJAS

- Fácil control de operación.
- No se generan olores.
- Eficacia constante de remoción.
- Se puede utilizar en época de lluvia o en época de estiaje.

DESVENTAJAS

- Incremento en los costos por la utilización de diferentes reactivos cada etapa del tratamiento.



El gasto de operación de cada una de las plantas, se estimó considerando:

La dotación de agua potable que es de 150L/HAB/DIA, proporcionado por el Sistemas de Aguas de la Ciudad de México multiplicado 0.8 y el número de habitantes.

El 0.8 es el coeficiente que establece el 80 % de agua que un habitante puede desechar en el drenaje.

La planta de tratamiento que tiene una capacidad de operación de 10 L/s se consideró una población de 7,200 habitantes.

Las plantas de tratamiento con capacidad de operación de 20 L/s se consideró una población de 14,400 habitantes.

Las plantas de tratamiento con capacidad de operación de 30 L/s se consideró una población de 21,600 habitantes.

La planta de tratamiento que tiene una capacidad de operación de 200 L/s se consideró una población de 144,000 habitantes.

El gasto total de operación es de 350 L/s para una población de 252,000 habitantes.

En brevemente se describen las plantas de tratamiento:

1) La Cañada primera planta propuesta

La planta de tratamiento sugerida en el área de La Cañada para la población de “La Carbonera” necesita tener una capacidad de operación de 20 L/s como mínimo, considerando que es un agua residual con características domésticas y con un valor de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) de entre 200 y 350mg/L. Es importante señalar que toda la población debe contar exclusivamente con drenaje de agua residual, ya que no se está considerando el agua pluvial. De no ser posible esta situación la segunda opción es obtener el agua para el influente de la planta de tratamiento del drenaje Marginal que inicia en la Cañada. El sistema de tratamiento que se puede utilizar para esta planta es un sistema biológico que puede ser aerobio (lodos activados, biofiltro) y/o un sistema anaerobio seguido por un aerobio. También es factible un tratamiento fisicoquímico por coagulación-



floculación, el cual tiene como ventaja la de un fácil control en la operación, aunque el costo es más elevado por los requerimientos de reactivos.

El área requerida para la instalación de dicha planta de tratamiento es de al menos 600 m². El agua tratada se puede utilizar para riego de los alrededores o bien para aumentar el caudal del río. Se propone el área que esta sobre la avenida Cañada a un costado de la nueva planta potabilizadora (coordenadas UTM 473799, 2133890).

2) Boulevard Benito Juárez segunda planta propuesta

La planta de tratamiento sugerida en el área del Boulevard Benito Juárez necesita tener una capacidad de operación de 20 L/s como mínimo. Se considera hacer la toma del influente para esta planta de tratamiento a partir del drenaje Marginal río Magdalena que actualmente corre por debajo del río Magdalena en esta zona. Es factible utilizar un sistema de tratamiento biológico. El área requerida para la instalación de esta planta de tratamiento es de al menos 600 m². El agua tratada se puede utilizar para riego de los alrededores y para aumentar el caudal del río en esta zona el cual disminuye considerablemente en época de estiaje.

Se propone el área que está a un costado del río Magdalena y en su cruce con el Boulevard Juárez. Es un área factible para instalar la planta debido a que no desde el punto de vista hidráulico es accesible debido a que está al margen de donde actualmente pasa la tubería del colector de drenaje y cumple con las dimensiones mínimas. (coordenadas UTM 474043, 2133923).

3) Parroquia tercera planta propuesta

La planta de tratamiento sugerida en un fragmento del área de la estación de autobuses ubicada entre el Boulevard Juárez y Parroquia se propone con una capacidad de operación de 20 L/s como mínimo. Se considera hacer la toma del influente para esta planta de tratamiento a partir del drenaje Marginal río Magdalena que actualmente corre por debajo del río Magdalena en esta área.

Es factible utilizar un sistema de tratamiento biológico. El área requerida para la instalación de esta planta de tratamiento es de al menos 600 m². El agua tratada se puede utilizar para riego de los alrededores y para aumentar el caudal del río en esta zona que en época de estiaje disminuye considerablemente. Se propone utilizar un fragmento del área que actualmente ocupa la estación de autobuses que está en la calle de Boulevard Juárez y Parroquia. Es un área factible para instalar la planta debido a que desde el punto de vista



hidráulico es accesible ya que se encuentra aproximadamente a 40 m de distancia del margen de donde actualmente pasa la tubería del colector de drenaje (coordenadas UTM 474269, 2134020).

4) Nogales cuarta planta propuesta

La planta de tratamiento sugerida en el cruce de la calle Tinaco y Nogales, antes de la intersección con el río Eslava, se propone con una capacidad de operación de 20 L/s. Se considera hacer la toma del influente para esta planta de tratamiento a partir del drenaje Marginal río Magdalena que actualmente corre por un margen del río Magdalena en esta área. Es factible utilizar un sistema de tratamiento biológico o fisicoquímico. El área requerida para la instalación de esta planta de tratamiento es de al menos 600 m². El agua tratada se puede utilizar para riego de los jardines, cuestiones estéticas de los alrededores y para aumentar el caudal del río que en esta zona disminuye considerablemente en época de estiaje.

Se propone utilizar el área deshabitada que está sobre la calle Nogal al lado del río Magdalena y antes de cruzar el río Eslava (coordenadas UTM 475059, 2134231). Desde el punto de vista hidráulico es accesible ya que se encuentra al margen del río Magdalena y al margen del drenaje marginal que pasa por esta zona.

5) Pedregal del Lago quinta planta propuesta

Se propone implementar una planta de tratamiento con capacidad de 30 L/s para agua residual que se puede tomar del drenaje marginal que pasa debajo del río Magdalena en esta zona. Es factible utilizar un sistema de tratamiento biológico o fisicoquímico. El área requerida para la instalación de esta planta de tratamiento es de al menos 800 m². El agua tratada se puede utilizar para riego de los jardines, cuestiones estéticas de los alrededores y para aumentar el caudal del río que en esta zona disminuye considerablemente en época de estiaje. Podría establecerse en el área que está cercada por malla metálica a un lado del Block Buster y al costado del río Magdalena a la altura del cruce Av. Sta. Teresa y Av. México. Esta área a la fecha no se encuentra habitada (coordenadas UTM 476431,2134946).

6) Cerrada Hidalgo sexta planta propuesta

La planta de tratamiento sugerida en las calles de Temaxicoya, Durango y cerrada Hidalgo (coordenadas UTM 475918, 2135148), se propone con una capacidad de operación



de 30 L/s .Se considera hacer la toma del influente para esta planta de tratamiento a partir del drenaje que corre en el sistema colector Avenida México. Es factible utilizar un sistema de tratamiento biológico o fisicoquímico. El área requerida para la instalación de esta planta de tratamiento es de al menos 800 m². El agua tratada se puede utilizar para riego de los alrededores y para cuestiones de estética del paisaje.

7) Camino Real séptima planta propuesta

La planta que se sugiere atrás del Hotel Camino Real cerca del Periférico (coordenadas UTM 476807,2135460), se propone con una capacidad de operación de 10 L/s. Se considera tratar parte del agua residual que corre en el drenaje marginal Río Magdalena y que desemboca en este punto hacia el río Magdalena. No considera aportes industriales o aportes de descargas con contenidos de metales pesados, fenoles, virus o bacterias patógenas resistentes; considerar dichas aportaciones implicaría la utilización de sistemas avanzados de tratamiento. Es factible utilizar un sistema de tratamiento biológico o fisicoquímico. El área requerida para la instalación de esta planta de tratamiento es de al menos 300 m². El agua tratada se puede utilizar aumento del caudal del río en esta zona.

8) Av. Universidad y Miguel Ángel de Quevedo octava planta propuesta

La calidad del agua en la sección que va de la presa Anzaldo a Churubusco, exige también un sistema de tratamiento. El gasto estimado en Panzacola, lugar donde el río vuelve a recobrar cielo abierto, es de 170 l/s en los meses de marzo-abril. La materia orgánica medida como DBO₅ es de 34 mg/l y como DQO es de 70 mg/l; así también, los Coliformes Fecales se estimaron en el orden de 3.00 E+07. Tomando estos valores como criterio, se propone un sistema de tratamiento para mejorar la calidad de agua en esta zona debido a que es una zona principalmente de uso recreativo y con alto valor histórico–paisajístico.

El sistema de tratamiento propuesto es un sistema fisicoquímico, el cual es muy factible, ya que si se optara por algún sistema de tratamiento biológico se necesitaría una mayor concentración de materia orgánica para un adecuado funcionamiento.

El área propuesta para instalar una planta de tratamiento fisicoquímico de acuerdo a los requerimientos especificados, es la que actualmente ocupa el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM) justo atrás del Banco Banamex (Avenida Universidad esquina con Miguel Ángel de Quevedo (coordenadas UTM 480979,2139115).



CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas para esta investigación permitieron cumplir con el objetivo general del trabajo ya que con la identificación de las descargas de agua residual y la evaluación de la calidad del agua se llevo a cabo la propuesta de las ocho plantas de tratamiento para poder sanear, el río Magdalena en todos sus tramos abiertos.

La calidad del agua del río se pudo caracterizar fácilmente con el cálculo del ICA y pudimos detectar la contaminación y aparte que visualmente es notoria la contaminación.

La inspección física permitió verificar la información de los mapas y se levantó un inventario de descargas de agua residual de las que se visualizaron que se vierten directamente al río, además se monitorearon las que se encontraron activas durante los recorridos de campo.

El río Magdalena es un río susceptible de ser utilizado de manera mas eficiente que como está siendo utilizado en el presente. El río recibe descargas de agua residuales domésticas, y dado que la mayor parte se fluye a través de la delegación Magdalena Contreras que no cuenta con Industrias, la propuesta de tratar sus aguas resulta relativamente sencilla en comparación con otras áreas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

En particular sobre el cauce del río Magdalena, comprometen su sobrevivencia. De ahí la necesidad de actuar de manera pronta e integral para lograr su plena rehabilitación, misma que es todavía posible. Su rescate implica salvar, para las generaciones futuras, un importante patrimonio natural, que puede aportarle a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México un caudal significativo de agua superficial y, a la vez, prestarle notables servicios ecosistémicos, al hacer posible disponer de zonas para la infiltración de agua, así como amplias zonas verdes con un potencial turístico y productivo.



CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES

Mantener, la cantidad en base a la norma del gasto ecológico y la calidad del agua del río, en la zona en la que todavía presenta “excelente calidad” y “calidad aceptable” de acuerdo a 15 parámetros medidos.

Las descargas de agua residual activas encontradas que se vierten directamente al río fueron pocas, las cuales permitieron un gasto y estimación de carga orgánica muy bajas, pero cabe señalar que es importante controlarlas y tratarlas.

En las descargas 1 y 2 provenientes de la primera planta potabilizadora en el primer Dinamo, se recomienda que no descarguen al río debido a que producen un aumento en la concentración de sólidos por efecto de la arena y lodos que desechan en sus sistemas de purga y en el lavado. Estos sólidos pueden generar problemas a largo plazo en una zona donde la calidad de agua todavía es “aceptable” además de que cabe recordar que ésta agua será captada más adelante por la segunda planta potabilizadora ubicada en “La Cañada” exigiendo un mayor nivel de tratamiento para su potabilización por efecto del aumento de los sólidos.

En la descarga 3 ubicada antes del callejón de las Moras sobre el río Magdalena, se considera una micro-descarga debido a que tiene un aporte de 0.0008 L/s esto no quiere decir que deba pasarse por alto. Para ésta y para la descarga 4 ubicada en el Boulevard Juárez, se sugiere entubarlas completamente hacia el sistema de drenaje marginal río Magdalena debido a que por sus condiciones, es altamente factible realizar esta acción.

Para la descarga 5 ubicada en el edificio perteneciente a las instalaciones gubernamentales del CISEN, se sugiere hacer cumplir la normatividad vigente a dichas instalaciones y pedir sea entubada a su sistema de drenaje o al drenaje marginal la descarga que tienen dirigida hacia el río Magdalena debido a que es agua residual.

Para las descargas 6 y 7 ubicadas en la Avenida México, la recomendación es entubarlas completamente hacia el drenaje marginal del río Magdalena. Estas descargas no vierten directamente al río Magdalena sin embargo vierten parcialmente en el drenaje marginal del río Magdalena, por lo que se sugiere viertan totalmente al drenaje.

Las descargas 8 y 9 ubicadas en el callejón Nayarit provienen del sistema de drenaje que da servicio a las colonias aledañas, deben entubarlas hacia el drenaje marginal.



La descarga 10 ubicada también en el callejón Nayarit pero esa proviene del drenaje marginal, se propone que se trate en la planta propuesta número siete para que cumpla con lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996, que se refiere a límites máximos permisibles para descargas de agua residual a cuerpos y bienes nacionales.

En el área urbana es claro el deterioro del agua conforme el río avanza en ella. Es posible contribuir a subsanar y revertir el deterioro de la calidad del agua, con la implementación de sistemas de saneamiento (tratamiento del agua residual) que permitan utilizar menor cantidad de agua potable y mayor reuso de agua tratada en función del uso destinado. Para los habitantes colindantes y visitantes se propone implementar la Educación Ambiental, de tal manera que haya una adecuada disposición de residuos sólidos (basura), que actualmente son vertidos al río (jornadas de limpieza, campañas de concientización y de cuidado del río) junto con un programa eficiente de recolección de basura es también indispensable. Con respecto a las descargas se propone la eliminación total de micro descargas difusas que están en la zona urbana conectándolas a la red de drenaje. Impedir la aparición de nuevas descargas proporcionando la infraestructura adecuada, la reparación del sistema de drenaje fracturado y el entubamiento del drenaje marginal que descarga en el río conectándolo a la red de drenaje.

Se requiere la realización de pruebas de tratabilidad a nivel laboratorio para establecer las condiciones óptimas del tratamiento tanto en eficiencia de proceso como en costos del sistema y llevar a cabo el escalamiento.

“Complementar la información referente a la caracterización, tanto del agua del río como de las descargas, considerando la época de lluvias”.



BIBLIOGRAFÍA

1. American Society of Civil Engineers American Water Works Association, Water Treatment Plant Design, Second edition 1993.
2. APHA., (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Analysis. American Public Health Association, AWWA and WPCF, Washington D. C. USA.
3. Cude Curtis G., (2007). Oregon water quality index: a tool for evaluating water quality management effectiveness, *Journal of the American Water Resources Association* **37** (1): 125-137.
4. Enciclopedia de México S.A de C.V., (1985). Imagen de la gran capital. Almacenes para los trabajadores del departamento del Distrito Federal Ciudad de México MCMXXX pp. 12-13,261-268.
5. Estadísticas del agua en México, CONAGUA (2007). pp. 60
6. Fernández Nelson, Ramírez Alberto “Physico-chemical water quality indices a comparative review”, Revista BISTUA.
7. Flores Pichardo María de los Angeles., (2008) Evaluación de la calidad del agua en el río Magdalena. Tesis profesional para obtener el título de Química Farmacéutica Bióloga, Director de tesis: Dra. María Teresa Orta Ledesma, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química.
8. Fredrick W., Kaurish, Tamin Younos., (2007). Developing a standardized water quality index for evaluating surface water quality. *Journal of the American Water Resources Association*; 43 (2): 533-545.
9. Hernández Romero Héctor, Tovilla Hernández Cristian., (2004), Water quality and presence of pesticides in a tropical coastal wetland in southern México, *Marine Pollution Bulletin*; **48**: 1130-1141.
10. Historial de Calidad del agua en la Ciudad de México, Sistemas de Aguas de la Ciudad de México (2007).
11. Jáuregui-Medina Cecilia, Ramírez-Hernández Santiago., (2007). Impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del río Mololoa (Nayarit, México) y propuestas de solución, *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*; **1** (3): 65-73.



12. Jiménez, B., (2001). La Contaminación Ambiental en México: causas efectos y tecnología apropiada. Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A.C., Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA, Edit. Limusa. pp. 204-282. México.
13. Jiménez Cisneros B., (1996). Water availability index based on quality and quantity: its application in México. *Wat. Sci Tech*; **34** (12): 165-172.
14. Laguna Limon Clara Liliana., (2005). Aplicación del cobre, ácido peracético y peróxido de hidrógeno como desinfectantes en aguas residuales con tratamiento primario avanzado. Tesis Profesional para obtener el título de Ingeniero Ambiental, Director de tesis: M. en C. Isaura Yañez Noguez, Instituto Politécnico Nacional.
15. Leyva Campos Velia Adriana., (1998). Aspectos de ingeniería civil en las plantas de tratamiento de agua residual. Tesis Profesional para obtener el título de Ingeniería Civil, Director de tesis: Dr. Adalberto Noyola Robles, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
16. Manual de Monitoreo Biológico y Químico en Arroyos Georgia., (2004). United States Department of Natural Resources Environmental Protection Division Program Adopt a stream pp. 227.
17. M. Brown Robert, Nina I. McClelland, "A water quality index-do we dare", *Water Sewerage Works* 11 pp. 339-343.
18. M.C. Kalcounis-Rueppell, V.H. Payne, S.R. Huff, A.L. Boyko, Effects of wastewater treatment plant effluent on bat foraging ecology in an urban stream system, Department of biology, University of North Carolina at Greensboro, USA.
19. Metcalf y Eddy., (1996). Ingeniería De Aguas Residuales Tratamiento Vertido Y Reutilización **1**: 53-55, 145-46. México.
20. Metcalf and Eddy., (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition. International Edition, New York, USA pp. 98-102, 155-160.
21. NMX-AA-003-SEMARNAT-1980, Que establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales. DOF, 25 de marzo de 1980.
22. NMX-AA-007-SCFI-2000, Que describe un método para la determinación de la temperatura en aguas naturales y residuales. DOF, 18 de diciembre de 2000.
23. NMX-AA-008-SCFI-2000, Que describe un método para la determinación del pH en aguas naturales y residuales. DOF, 18 de diciembre de 2000.



24. NMX-AA-012-SCFI-2001, Que describe un método para la determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. DOF, 17 de abril de 2001.
25. NMX-AA-028-SCFI-2001. Que describe un método para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. DOF, 17 de abril de 2001.
26. NMX-AA-029-SCFI-2001. Que describe un método para la determinación de fosforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. DOF, 17 de abril de 2001.
27. NMX-AA-030-SCFI-2001. Que describe un método para la determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. DOF, 17 de abril de 2001.
28. NMX-AA-034-SCFI-2001. Que describe un método para la determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. DOF, 01 de agosto de 2001.
29. NMX-AA-039-SCFI-2001. Que describe un método para la determinación de sustancias activas al azul de metileno (SAAM) Sustancias Activas al Azul de Metileno en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. DOF, 01 de agosto de 2001.
30. NMX-AA-079-SCFI-2001. Que describe un método para la determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. DOF, 13 de agosto de 2001.
31. NMX-AA-102-1987. Que describe un método para la detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva método de filtración en membrana. DOF, 06 de noviembre de 1992.
32. NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales. DOF, 06 de enero de 1997.
33. NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado. DOF; 03 de junio de 1998.



34. NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en servicios al público. DOF, 21 de Septiembre de 1998.
35. NOM-014-SSA1-1993. Que establece los procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. DOF, 03 de febrero de 1997.
36. Organización Meteorológica Mundial., (1994). Guía De Prácticas Hidrológicas, 5ta edición, pp. 147-173, 227-252.
37. Ronald M. Atlas., (2002). Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental, University Of Louisville, Richard Bartha, Rutgers University 4ª Edición.
38. R.S. Ramalho., (1993). Tratamiento de aguas residuales Editorial Reverté, S.A.
39. S.H. DINITUS., (1987). Design of an index of water quality, Water Resources Bulletin **23** (5)
40. Shoji, Hikaru, Miyamoto, Kenichi., (1964). La Contaminación que nos debería preocupar. Ed. Iwanami Shinsho (en japonés).
41. Villa Orozco Jorge., (2000). Estudios preliminares para la localización de planta de tratamiento de aguas residuales en la zona de los GEOS en Ciudad Universitaria. Tesis Profesional para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
42. Vives de Andreis José Benito., (2004). Guía para el monitoreo y seguimiento del agua. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. Bogotá Colombia.
43. Asad/Dinar: El Rol de la Política del Agua en México, Banco Mundial 2006, pp. 1-4. Disponible en World Wide Web:
http://siteresources.worldbank.org/INTENBREVE/Newsletters/21155711/Oct06_95_MexicoWater_SP.pdf
44. Banco Mundial., (2006) The Lerma-Chapala River Basin (en inglés), pp. 3-12. Disponible en World Wide Web:
http://www.worldbank.org/external/default/WDSPContentServer/WDSP/IB/2007/10/19/000310607_20071019123528/Rendered/PDF/411690MX0LermaIaseIstudy1501PUBLIC1.pdf
45. Delegación la Magdalena Contreras. Disponible en World Wide Web:
<http://www.mcontreras.df.gob.mx/>



46. Comisión Nacional del Agua, Estados Unidos Mexicanos. Disponible en World Wide Web: <http://www.cna.gob.mx/conagua/Default.aspx>
47. El camino recorrido por Japón para el saneamiento de los ríos caso del Río Sumida. Disponible en World Wide Web:
http://www.ancefn.org.ar/comunicar/SUMIDA_RIVER.pdf



ANEXOS TÉCNICAS ANALÍTICAS

Normas y técnicas de parámetros físico-químicos y microbiológicos de agua superficial y residual.

NMX-AA-028-SCFI-2001

DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DBO₅) Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-028-1981)

Introducción

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una prueba empírica en la que se utilizan procedimientos estandarizados de laboratorio para determinar los requerimientos relativos de oxígeno de las aguas residuales, efluentes y contaminadas. La prueba tiene su aplicación más extendida en la determinación de las cargas residuales en las instalaciones de tratamiento y en la evaluación de la eficacia de extracción de DBO de tales sistemas de tratamiento. La prueba mide el oxígeno utilizado, durante un periodo de incubación especificado, para la degradación bioquímica de materia orgánica (requerimiento de carbono), y el oxígeno utilizado para oxidar materia orgánica, como los sulfuros y el ion ferroso. Puede medir también el oxígeno utilizado para oxidar las formas reducidas del nitrógeno a menos que se impida la oxidación por medio de un inhibidor.

La concentración de DBO en la mayoría de las aguas residuales supera la concentración de oxígeno disuelto disponible en una muestra saturada de aire. Por tanto, es necesario diluir la muestra antes de incubarla para equilibrar de forma adecuada el requerimiento y el suministro de oxígeno. Ya que el crecimiento bacteriano requiere nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, y metales traza, se añaden estos el agua de disolución, la cual es tamponada para asegurar que el pH de la muestra incubada se mantiene en un intervalo adecuado para el crecimiento bacteriano. La estabilidad completa de una mezcla puede requerir un periodo de incubación demasiado largo para fines prácticos; por lo tanto, el periodo de 5 días ha sido aceptado como el periodo de incubación estándar.

**Fundamento:**

El método consiste en llenar con muestra hasta rebosar, un frasco hermético del tamaño especificado, e incubarlo a la temperatura establecida durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación, y la DBO se calcula mediante la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y final. Debido a que el oxígeno disuelto se determina inmediatamente después de hacer la dilución, toda la captación de oxígeno, incluida la que ocurre durante los 15 primeros minutos, se incluye en la determinación de la DBO.

Material, equipo y reactivos:

- Medidor de oxígeno YSI Modelo 51B OXIGEN METER
- Electrodo para el medidor de oxígeno YSI 5905 DBO Probe
- Botellas de incubación de 300 mL
- Equipo de filtración (matraz kitazato, porta filtro, manguera)
- Membranas de 45 μ m
- Agitador magnético
- Parrilla de agitación
- Recipiente de capacidad suficiente para preparar el agua de dilución (cubeta)
- Pipetas de diferentes capacidades de acuerdo al volumen de la muestra necesario
- Reactivo HACH DBO nutrient buffer pillows (ya sean para 300 mL o 3 L)
- Agua destilada

Procedimiento:

Calibración del medidor de oxígeno:

El electrodo se conecta al medidor de oxígeno (el electrodo debe estar libre de agua) y se enciende el ventilador; posteriormente la perilla se coloca en la posición READ TEMPERATURA y registrar la temperatura, buscar en la parte posterior del aparato con la temperatura registrada, el valor del factor de temperatura y anotarlo, ahí mismo se encontrará el factor de presión el cual también, deberá registrarse.

Multiplicar el factor de temperatura y el de presión, con lo cual obtendremos el valor de oxígeno disuelto al cual se debe calibrar el equipo.

Ya que se ha determinado la temperatura y los factores de presión y temperatura, deberá colocarse la perilla en posición ZERO y ajustar la aguja en el cero, con el botón que está en la parte inferior izquierda del aparato; y designada como ZERO, posteriormente se



cambia la perilla a la posición FULL SCALE. Una vez realizado eso, el aparato está listo para realizar las determinaciones de oxígeno disuelto.

Preparación del agua de dilución: Deberá filtrarse la cantidad necesaria de agua destilada para la prueba, se le agrega el reactivo HACH para DBO, agitando perfectamente y saturando de oxígeno con la ayuda del ozonador, colocando la llave del ozonador en la posición oxígeno, deberá utilizarse la parrilla de agitación así como el agitador magnético para obtener una oxigenación más homogénea en el agua de dilución debe irse monitoreando el oxígeno por medio del electrodo y se dejará de burbujear oxígeno, cuando se hayan alcanzado 7 mg /l de O₂, en este punto el agua estará saturada de oxígeno necesario para la determinación de la DBO.

Colocar en cada una de las botellas la cantidad de muestra necesaria y proceder al llenado con el agua de dilución ya preparada.

Una vez que se encuentre saturada el agua de dilución deberán llenarse las botellas de incubación donde previamente se ha colocado la muestra, de tal forma que no se formen burbujas en las paredes, esto se logra inclinando un poco la botella y vertiendo el agua de dilución muy despacio, en este momento deberá introducirse el electrodo y se acciona al ventilador, colocando la perilla en la posición READ O₂ y la aguja marcará los mg/L O₂ presentes al inicio en la botella; después se colocara el tapón de la botella cuidando de no formar burbujas en el cuello de la botella, agregar un poco de agua de dilución en la parte superior para formar un sello hidráulico y evitar la difusión de oxígeno al interior de la botella.

Esto deberá realizarse con cada una de las botellas y diluciones que sean necesarias.

Al terminar el llenado y medición de oxígeno disuelto en cada una de las botellas, estas deberán llevarse al incubadora que deberá estar a 20° C. Allí permanecerán por 5 días al cabo de los cuales se les determinará el oxígeno disuelto.

La determinación al cabo de los cinco días se realiza de la misma forma que al inicio, es decir, deberá calibrarse el equipo, como ya se ha descrito, se procede a realizar la lectura del oxígeno disuelto que permanece en las muestras.

Como blanco se utilizará una botella con agua de dilución, que será procesada de igual forma que las muestras.

Se registran las concentraciones de oxígeno disuelto al inicio y al final de los cinco días, ya que con estos datos se obtendrá la DBO.

Una vez que han pasado los 5 días se tienen las concentraciones de oxígeno disuelto.

La determinación de DBO se calcula de la siguiente manera:



$$\text{mg/L DBO} = \frac{[(ODm1 - ODm2) - [(ODb1 - ODb2)] \times \text{Vol. botella (mL)}}{\text{mL muestra}}$$

Donde:

OD_{m1}: Es la concentración de oxígeno disuelto que contiene la muestra al inicio en la botella.

OD_{m2}: Es la concentración de oxígeno disuelto que contiene la muestra al quinto día en la botella.

OD_{b1} : Es la concentración de oxígeno disuelto que contiene el blanco al inicio en la botella.

OD_{b2}: Es la concentración de oxígeno disuelto que contiene el blanco al quinto día en la botella.

Notas:

Se debe vigilar diariamente que el sello hidráulico que se formo en el tapón de la botella no se rompa (se seque), de ser necesario deberá colocarse agua destilada para evitar que haya flujo de oxígeno de afuera hacia dentro de la botella. Deberán hacerse ciertas pruebas preliminares para determinar si es necesario agregar inoculo al agua de dilución, para esto se puede correr una muestra con y sin inoculo.

De manera semejante deberán hacerse pruebas para encontrar la dilución adecuada de la muestra y poder realizar las lecturas de oxígeno disuelto.

Al momento de saturar el agua de dilución con oxígeno se debe agitar perfectamente y colocar el electrodo en todas las posiciones posibles para verificar que se está llevando a cabo de manera homogénea la saturación del agua de dilución.



NMX-AA-030-SCFI-2001

DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (ANCELA A LA NMX-AA-030-1981)

Introducción:

La demanda química de oxígeno se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte. Para las muestras de una fuente específica, la DQO puede relacionarse empíricamente con la DBO, el carbono orgánico ó la materia orgánica. La prueba es útil para monitorear y controlar después de haber establecido la correlación. Se prefiere el método de refluo de dicromato a los procedimientos que utilizan otros oxidantes debido a su mayor capacidad oxidante, a su aplicabilidad, a una mayor variedad de muestras y a su fácil manipulación. La oxidación de la mayoría de los compuestos es de 95 al 100%.

Fundamento:

La mayor parte de la materia orgánica resulta oxidada por una mezcla a ebullición de los ácidos crómico y sulfúrico, se somete a un refluo una muestra en una solución ácida fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio.

Material, equipo y reactivos:

- Espectrofotómetro, HACH DR/2C00 Direct reading spectrophotometer
- Digestor para DQO, HACH COD reactor
- Vasos de precipitados
- Matraces aforados de 100 mL con tapón
- Pipeta de 2 mL
- Pipetas de 10 mL



- Propipeta
- Equipo de filtrado: Matraz kitazato, portafiltro, manguera
- Membranas de 45 μm
- Sistema de vacío
- Agua destilada
- Tubos HACH de reactivo para DQO de 0 -1500 mg/L.

Procedimiento:

Poner a calentar previamente el digestor, verificando que el botón de calentamiento esté encendido y colocar el termómetro.

Para la determinación de la DQO deberán prepararse diluciones de las muestras a analizar, estas serán generalmente I: 10; es decir 10 mL aforados a 100 mL.

Para la determinación de la DQO soluble, tanto la muestra como el agua destilada para las diluciones deberán filtrarse con membranas de 45 μm .

Una vez filtrada la cantidad necesaria de muestra (10 mL) colocarla en un matraz aforado de 100 mL y diluir con agua destilada filtrada a 100 mL, agitar.

Ya que se han preparado todas las diluciones, tomar 2 mL con la pipeta de 2 mL y colocarlos con mucho cuidado en los tubos de reactivo para DQO, cerrar el tubo cuidando de no agitarlo. Proceder de la misma forma con las demás diluciones.

Deberá prepararse también un tubo de reactivo para DQO con 2 mL de agua destilada filtrada, este será el blanco de calibración.

Cuando estén listos todos los tubos deberán agitarse fuertemente y colocarse en el digestor previamente calentado, girar la perilla del reloj y dejar llevar a cabo la digestión por dos horas, las cuales las marcará el reloj e indicará el momento en que haya pasado el tiempo de digestión. Una vez que ha terminado la digestión deberá apagarse el digestor y monitorear la temperatura, cuando ésta sea de 100°C sacar los tubos del digestor y agitar, colocándolos posteriormente en una gradilla, dejando que se enfríen a temperatura ambiente para su posterior lectura.

Una vez que se han enfriado, se procederá a su lectura.

Encender el espectrofotómetro, con el botón POWER, seleccionar el número del método, que para DQO de alto rango es 435, teclear 435 y enseguida presionar el botón READ/ENTER, aparecerá una leyenda "ESPERE" y posteriormente se indicará la longitud



de onda a la cual deberá ajustarse el equipo (620 nm); una vez ajustada la longitud de onda oprimir nuevamente la tecla READ/ENTER, y aparecerá en la pantalla mg/L DQO H.

Colocar al adaptador para soportar el tubo dentro del espectrofotómetro.

Introducir el tubo que se preparó con agua destilada, que es el blanco, la leyenda HACH que tiene el tubo deberá estar orientado hacia el frente del aparato. Colocar la tapa del adaptador; presionar la tecla CLEAR/ZERO aparecerá una leyenda que dice ESPERE, posteriormente se desplegará el valor 0 mg/L DQO H, con esto el espectrofotómetro está calibrado.

Para la lectura de la muestra, colocarla en el espectrofotómetro, con la leyenda HACH hacia el frente, colocar la tapa y presionar la tecla READ/ENTER espere un momento y el valor de la DQO en mg/L aparecerá en la pantalla. Proceder de la misma manera para todas las muestras a leer.

El valor de DQO mg/L que se lee el espectrofotómetro deberá multiplicarse por el factor de dilución al cual fue preparada la muestra, para obtener así el valor correcto de DQO.

Notas:

Al tomar la muestra para colocarla en tubo con reactivo, deberá utilizarse una pipeta limpia y seca totalmente para evitar errores en las determinaciones.

El procedimiento anteriormente descrito se realiza para determinar la DQO soluble pero el mecanismo es el mismo para la DQO total, sólo que para ésta no es necesario filtrar la muestra ni el agua destilada.

Debe tenerse cuidado al manipular los tubos de reactivos ya que contienen ácido sulfúrico.

**NMX-AA-008-SCFI-2000****DETERMINACIÓN DEL pH - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-008-1980)****WATER ANALYSIS - DETERMINATION OF pH - TEST METHOD****Introducción:**

La medida del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes, utilizadas en el análisis químico del agua. Prácticamente todas las fases del tratamiento del agua para suministro y residual, como la neutralización ácido-base, suavizado, precipitado coagulación, desinfección y control de la corrosión, dependen del pH. El pH se utiliza en las determinaciones de alcalinidad y dióxido de carbono y en muchos otros equilibrios ácido-base. A una temperatura determinada, la intensidad del carácter ácido ó básico de una solución viene dada por la actividad del ion hidrógeno o pH. La alcalinidad y acidez son las capacidades neutralizantes de ácidos bases de un agua, y normalmente se expresan como miligramos CaCO_3 por litro. La capacidad tampón es la cantidad de ácido ó base fuerte, normalmente expresada en moles por litro, necesaria para cambiar el valor del pH de 1 litro de muestra en 1 unidad.

Sorenson definió el pH como el: $-\log [\text{H}^+]$; es el factor de "intensidad" o acidez.

El agua pura está muy poco ionizada y en el equilibrio el producto iónico es:

$$[\text{H}^+] [\text{OH}^-] = K_w$$

$$[\text{H}^+] [\text{OH}^-] = 1.01 \times 10^{-14}$$

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 1.005 \times 10^{-7}$$

Donde:

$[\text{H}^+]$ = Actividad de iones hidrógeno, moles/L

$[\text{OH}^-]$ = Actividad de iones hidroxilo, moles/L

K_w = Producto iónico del agua.



Fundamento:

El principio básico de la determinación electrométrica del pH es la medida de la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas utilizando un electrodo patrón de hidrógeno y otro de referencia. El electrodo de hidrógeno consiste en un electrodo de platino por el que se pasan burbujas de hidrógeno gaseoso a una presión de 101 KPa.

Debido a la dificultad de utilizarlo y al potencial de intoxicación del electrodo de hidrógeno se utiliza comúnmente un electrodo de vidrio.

La fuerza electromotriz (fem) producida en el sistema de electrodo de vidrio varía linealmente con el pH y esta relación lineal se describe comparando la fem medida con el pH de diferentes tampones. El pH de la muestra se determina por extrapolación.

Material, equipo y reactivos:

- Potenciómetro Cole-Parmer, Modelo 05669-20 Microcomputer pH-vision
- Vasos de precipitados
- Agua destilada
- Electrodo de trabajo (electrodo de vidrio y de referencia)
- Agitador

Procedimiento:

Calibración del potenciómetro. Conectar el electrodo al potenciómetro cuidando de colocar el sensor del electrodo en agua destilada, después conectar el potenciómetro a la toma de corriente, en este momento la pantalla se encenderá y pedirá la solución buffer estándar de pH = 7; sacar el electrodo del agua destilada, secar e introducir en la solución buffer de pH = 7, posteriormente oprimir el botón STANDARD, en este momento empezará a parpadear el botón WAIT, cuando se estabilice, sacar el electrodo de la solución buffer de pH = 7, enjuagar, secar e introducir ahora en la solución buffer de pH = 4, oprimiendo posteriormente el botón SLOPE, enseguida empezará a parpadear el botón WAIT, cuando se estabilice, retirar el electrodo de la solución buffer de pH = 4, enjuagar y colocar el electrodo en agua destilada.

Una vez calibrado el equipo podrán realizarse las mediciones requeridas.

Para realizar la medición de pH, deberá colocarse la muestra a caracterizar en un vaso de precipitados, agitando perfectamente, introducir el electrodo en el vaso que



contiene la muestra y posteriormente oprimir el botón MEASURE, el botón WAIT empezará a parpadear, en el momento en que este botón se estabilice se tendrá el valor del pH.

Cuando se terminen de hacer las mediciones necesarias, el electrodo deberá enjuagarse muy bien e introducir la membrana en solución buffer de pH = 4 y mantenerlo así hasta que sea utilizado nuevamente.

Notas:

Las soluciones estándar de pH = 7 y pH = 4 deberán revisarse periódicamente, para que no se contaminen y en caso de estarlo deberán prepararse nuevamente. Las soluciones buffer de pH = 7 y pH = 4 se preparan con los cojinetes HACH de pH = 7 y pH = 4 respectivamente, disolviéndolos en 50 mL de agua destilada y colocándolos en recipientes limpios.



NMX-AA-007-SCFI-2000

DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (ANCELA A LA NMX-AA-007-1980)

Procedimiento

Siempre que sea posible se debe realizar la medición directamente en el cuerpo de agua, se debe tomar un volumen suficiente de muestra tal que el instrumento quede debidamente inmerso, esperar el tiempo suficiente para obtener mediciones constantes. Enjuagar con agua destilada el instrumento de medición.

Las lecturas se obtienen directamente de la escala del aparato medidor de temperatura, y se informan en grados Centígrados ($^{\circ}\text{C}$), con aproximación a la décima de grado (0.1°C).

En el caso de aguas residuales, todas las lecturas deben hacerse en las descargas. En caso de que no sea posible, ésta puede determinarse en un punto accesible del conducto más próximo a la descarga.

En el caso de tuberías curvadas, se recomienda la inserción del vástago del termómetro en posición a lo largo del eje del tubo y de frente a la corriente aguas arriba. En tuberías de pequeño diámetro, esta posición es obligatoria.

En aquellos casos en que el fluido no se encuentre bien mezclado, debe usarse un dispositivo que produzca turbulencia aguas arriba del punto de medición.

- 1.- Determinación de la temperatura en aguas superficiales o poco profundas cuando se requiere tomar muestra.
- 2.- Introducir el recipiente para muestreo, moverlo de manera circular durante 1 min para que se equilibre su temperatura con la del agua y retirar el recipiente con la muestra.
- 3.- Sumergir el termómetro de mercurio para uso rutinario, en posición centrada en el recipiente, hasta la marca de inmersión parcial o hasta una graduación apropiada si el termómetro es de inmersión total. Imprimir ligeros movimientos circulares por lo menos durante 1 min hasta que la lectura del termómetro se estabilice. Si la temperatura de la



muestra difiere en más de 5 °C de la del ambiente, repetir el muestreo a partir del 1 utilizando el vaso de doble pared. Si el termómetro es de sensor, éste debe sumergirse en el volumen mínimo de muestra y a la profundidad que recomienda el fabricante y las lecturas deben efectuarse después del tiempo de equilibrio recomendado en el manual del usuario.

4.- Registrar la lectura y la altura de la columna emergente si el termómetro utilizado es de inmersión total.

5.-Realizar por triplicado las operaciones 1 a 4.

Determinación de la temperatura en aguas residuales cuando se requiere tomar muestra:

La temperatura debe determinarse en el punto de la descarga o en un punto accesible del conducto más próximo al de la descarga. El recipiente para toma de muestra debe dejarse en contacto con el fluido durante un tiempo suficiente para que equilibre su temperatura con la del fluido y se procede como se indica en el inciso 3.



NMX-AA-034-SCFI-2001

DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS Y SALES DISUELTAS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LAS NMX-AA-020-1980 Y NMX-AA-034-1981)

Procedimiento

- 1.- Preparación de cápsulas de porcelana
- 2.- Las cápsulas se introducen a la mufla a una temperatura de $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, durante 20 min como mínimo. Después de este tiempo transferirlas a la estufa a $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$ aproximadamente 20 min.
- 3.- Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador.
- 4.- Pesar las cápsulas y registrar los datos.
- 5.- Repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtendrá hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0.5 mg. Registrar como peso G.
- 6.- Preparación de crisoles Gooch: Introducir el filtro de fibra de vidrio en el crisol con la cara rugosa hacia arriba, mojar el filtro con agua para asegurar que se adhiera al fondo del crisol.
- 7.- Los crisoles se introducen a la mufla a una temperatura de $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, durante 20 minutos como mínimo. Después de este tiempo transferirlos a la estufa a $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$ aproximadamente 20 minutos.
- 8.- Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador.
- 9.- Pesar los crisoles y repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtiene hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0.5 mg. registrar como G3.
- 10.- Preparación de la muestra: Sacar las muestras del sistema de refrigeración y permitir que alcancen la temperatura ambiente. Agitar las muestras para asegurar la homogeneización de la muestra.



11.- Medición para sólidos totales (ST) y sólidos totales volátiles (SVT).

Determinación para sólidos totales (ST):

En función de la cantidad de sólidos probables tomar una cantidad de muestra que contenga como mínimo 25 mg/L de sólidos totales, generalmente 100 mL de muestra es un volumen adecuado. Transferir la muestra a la cápsula de porcelana que previamente ha sido puesta a peso constante. Llevar a sequedad la muestra en la estufa a 103°C-105°C.

Enfriar en desecador hasta temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso G1.

Calcular el contenido de sólidos suspendidos totales de las muestras como sigue:

$$SST = (G4 - G3) * 1000 / V$$

G3 : Es el peso del crisol con el disco a peso constante, en mg;

G4 : Es el peso del crisol con el disco y el residuo seco, en mg, y

V: Es el volumen de muestra, en mL.



NMX-AA-079-SCFI-2001

DETERMINACIÓN DE NITRATOS EN

AGUAS NATURALES, POTABLES, RESIDUALES Y

RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA

NMX-AA-079-1986)

Procedimiento

Método de reducción con cadmio cuperizado. Preparación de la columna de reducción. Insertar un tapón de lana de vidrio o algodón en la base de la columna de reducción y llenar con agua. Añadir suficientes gránulos de cadmio cuperizado para empaquetar una columna de 18.5 cm. Mantener el nivel de agua por encima de los gránulos de cadmio cuperizado para evitar burbujas de aire. Lavar la columna con 200 mL de disolución EDTA en buffer amonio/amoniaco. Activar la columna haciéndole pasar, a velocidad de 7 a 10 mL/min, 100 mL o más de una disolución compuesta por 25% de estándar de 1.0 mg de $\text{N-NO}_3^-/\text{L}$ y 75% de disolución de EDTA en buffer amonio/amoniaco.

Ajuste de pH de las muestras. Si es necesario ajustar el pH de las muestras entre 7 y 9, con ácido clorhídrico o hidróxido de sodio. Esto asegura un pH de 8.5 después de añadir la disolución de EDTA en buffer amonio/amoniaco.

Reducción de la muestra: Medir con pipeta volumétrica la alícuota de la muestra (25 ml) o menor según sea requerido y llevar a 100 ml con la disolución EDTA en buffer amonio/amoniaco. Verter la muestra mezclada en la columna (ajustar el flujo a una velocidad de 7 mL/min a 10 mL/min) y colectarla, descartando los primeros 25 mL. Colectar el resto en el matraz de muestra original. No es necesario lavar la columna entre muestras, sino cuando las columnas no son reutilizadas durante varias horas, verter 50 mL de disolución diluida de EDTA en buffer amonio/amoniaco por la parte superior y dejarla pasar a través del sistema. Almacenar la columna de cadmio cuperizado en esta disolución y no permitir que se seque.

**NMX-AA-029-SCFI-2001****DETERMINACIÓN DE FÓSFORO TOTAL EN AGUAS NATURALES,
RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA
A LA NMX-AA-029-1981)**

Digestión de la muestra: Preparación de la muestra por medio de la digestión con persulfato:

Usar 50 mL o la porción adecuada de la muestra bien mezclada. Adicionar una gota de fenolftaleína. Si aparece un color rojo, adicionar gota a gota ácido sulfúrico concentrado hasta que desaparezca el color. Posteriormente adicionar 1 mL de disolución de ácido fuerte y 0.4 g de persulfato de amonio o 0.5 g persulfato de potasio.

Calentar hasta que rompa la ebullición y mantenerla sobre la placa de calentamiento, por 30 min o 40 min o hasta que el volumen final alcanzado sea de 10 mL. Los compuestos órgano fosforados pueden requerir de 1.5 h a 2 h para su digestión completa. Enfriar, diluir a 30 mL con agua, adicionar una gota de fenolftaleína, y neutralizar hasta desvanecer a un color rosa pálido con la disolución de hidróxido de sodio. Alternativamente, calentar por 30 min en un autoclave u olla de presión de 98 kPa a 137 kPa. Enfriar, añadir una gota de fenolftaleína y neutralizar hasta desvanecer a un color rosa pálido con la disolución de hidróxido de sodio. Aforar a 100 mL con agua destilada. En algunas muestras puede formarse un precipitado en esta fase, pero no se debe filtrar. Mezclar bien para cualquier subdivisión de la muestra. El precipitado (posiblemente de fosfato de calcio) se redisuelve bajo condiciones ácidas de la prueba calorimétrica para determinar el fósforo.

Cálculos

Calcular la concentración de la muestra por medio de la ecuación obtenida de la curva de calibración y que es representada por la siguiente ecuación:

$$Y = mX + b$$

Donde:

m es la pendiente;

b es la ordenada al origen;

Y es la absorbancia, y X es la concentración (mg P/L).



En caso de haber dilución de la muestra a lo largo del desarrollo del método (digestión y alícuota de muestra), utilizar la siguiente ecuación: $\text{mg P/L} = \text{concentración} \times \text{factor de dilución}$, reportar los resultados en mg P/L con dos décimas, con la precisión correspondiente.



EVALUACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

Introducción:

Sólidos son los materiales suspendidos ó disueltos en aguas limpias y aguas residuales. Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua ó a su suministro de varias maneras.

Las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de menor potabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional. Por estas razones, para las aguas potables es deseable un límite de 500 mg/L de sólidos disueltos. Las aguas altamente mineralizadas tampoco son adecuadas para muchas aplicaciones industriales o incluso resultan estéticamente insatisfactorias para bañarse.

Los análisis de sólidos son importantes en el control de proceso de tratamiento biológico y físico de aguas residuales, y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido

Material, equipo y reactivos:

- Conductímetro, HACH CONDUCTIVITY/TDS METER
- Vasos de precipitados
- Agua destilada

Procedimiento:

La muestra a medir deberá colocarse en un vaso de precipitados, agitando perfectamente para tener una mayor precisión.

Encender el conductímetro oprimiendo el botón POWER, y oprimir el botón STD, colocar el electrodo dentro del vaso que contiene la muestra y automáticamente el valor de la concentración de los sólidos disueltos aparecerá en la pantalla del equipo.

Para tener una mayor precisión en la lectura deberá buscarse el intervalo en que la lectura sea la más apropiada; para esto el equipo cuenta con tres botones de diferentes escalas que son: 200, 20 y 100; allí deberá buscarse en cuál de las escalas la lectura es la más precisa y hacerse la lectura, teniendo cuidado de corroborar en que unidades se están reportando los sólidos disueltos.

Una vez terminada la lectura deberá enjuagarse muy bien el electrodo y secarse.



EVALUACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO

NMX-AA-012-SCFI-2001

DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO (Método electrométrico)

Introducción

Los niveles de oxígeno disuelto (OD) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas dependen de las actividades químicas, físicas y bioquímicas en los cuerpos de aguas.

Reactivos y patrones

Todos los productos químicos usados en este método deben ser grado reactivo, a menos que se indique otro grado.

Agua: debe entenderse agua que cumpla con las siguientes características:

- resistividad: megohm-cm a 25 °C: a,2 min;
- Conductividad: microS/cm a 25° C 5,0 max., y
- pH: 5,0 a 8,0

Método electrométrico

- Cloruro de cobalto (CoCl_2)
- Sulfito de sodio (Na_2SO_3)
- Disolución saturada de cloruro de cobalto. Pesar aproximadamente y con precisión 4.5g de cloruro de cobalto y disolver en mL de agua.
- Disolución estándar de concertación nula de oxígeno disuelto (OD). Pesar aproximadamente y con precisión 5.0 g de sulfito de sodio, aforar a 100 mL de agua y añadir 2 gotas de la disolución saturada de cloruro de cobalto.

Equipo y materiales

- Medidor de oxígeno disuelto con electrodo de membrana sensitiva al oxígeno, de tipo galvanizo o polarizado.
- Parrilla de agitación magnética.



- Balanza analítica con precisión de 0.1mg.
- Barras de agitación magnética de PTFE.

Recolección, preservación y almacenamiento de muestras

- Se debe evitar que la muestra se agite o entre en contacto con el aire.
- El análisis de la muestra debe realizarse inmediatamente después de su recolección, por lo cual no es necesario adicionar ningún conservador.
- Si la muestra tiene que ser transportada, se debe mantener a 4°C aproximadamente y no se debe almacenar por más de 8h.

Procedimiento

Posterior a la calibración del instrumento proceder a hacer la medición de la(s) muestra(s) siguiendo el procedimiento descrito a continuación.

1. Introducir el electrodo previamente lavado con agua a la muestra.
2. Agitar uniformemente y leer directamente del instrumento la concentración de oxígeno.

Cálculos

Las concentraciones de OD se toman directamente de la lectura del instrumento.

Interferencias

- La entrada de aire atmosférico dentro de las muestras puede causar medidas erróneas al instrumento.
- Las pruebas basadas en difusión están sujetas a errores negativos por la formación de capas como los óxidos de hierro, los cuales impiden la difusión del oxígeno.
- La hidracina, aminas, ácido sulfhídrico e hidrógeno, que pasen a través de la membrana causan errores negativos.



EVALUACIÓN DE LA TURBIEDAD (METODO NEFELOMETRICO, NTU)

Introducción:

La transparencia del agua es importante para la elaboración de productos destinados al consumo humano y para numerosos usos industriales. Los fabricantes de bebidas, los procesadores de alimentos y el tratamiento de las plantas de extracción sobre agua superficial generalmente confían en la coagulación, la clasificación y el filtrado para garantizar productos aceptables. La transparencia de una masa natural de agua es un factor decisivo para la calidad y productividad de estos sistemas.

La turbidez del agua es producida por materias en suspensión como arcilla, cieno y materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos. La turbidez es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y se absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. La correlación de la turbidez con la concentración en peso de la materia en suspensión es difícil de establecer, ya que en la dispersión luminosa también intervienen el tamaño, la forma y el índice de refracción de las partículas.

Partículas óptimamente negras, como las de carbón activado; pueden absorber y aumentar significativamente las cifras de turbidez.

Fundamento:

El método por el cual se determina la turbiedad en las muestras es el nefelométrico.

Este se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas y la dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuando mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbidez. Como suspensión patrón de turbidez de referencia se emplea un polímero de formacina. Es fácil de preparar y, en cuanto a propiedades de dispersión de luz, más reproducible que la arcilla ó el agua turbia natural.

La turbidez de una concentración especificada en suspensión de formacina se define como el equivalente a 40 unidades nefelométricas.

Material y equipo:

- Turbidímetro HACH 2100P Turbidímetro
- Celdas



- Agua destilada

Procedimiento:

La lectura de la turbidez de las muestras se realiza de manera directa.

Encender el turbidímetro teniendo cuidado de que este esté calibrado.

Colocar en la celda para lectura la cantidad necesaria, es decir por encima del nivel marcado en la misma, lubricar la pared de la celda con el aceite que viene en el estuche del turbidímetro, cuidando de frotar todo el cuerpo de la celda.

Introducir la celda dentro del turbidímetro, cubrir con la tapa y hacer la lectura, oprimiendo el botón READ.

Notas:

En caso de que al momento de hacer la lectura el número en la pantalla parpadee, deberá oprimirse el botón RANGE y el equipo automáticamente corregirá la lectura.

La celda deberá enjuagarse con la muestra a la que se va a medir la turbiedad antes de hacer cualquier lectura.

**NMX-AA-102-1987****DETECCIÓN Y ENUMERACIÓN DE ORGANISMOS COLIFORMES,
ORGANISMOS COLIFORMES TERMOTOLERANTES Y Escherichia coli
PRESUNTIVA – MÉTODO DE FILTRACIÓN EN MEMBRANA**

Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes fecales y coliformes totales, cuenta heterotrófica mediante el método de filtración en membrana.

La presencia y extensión de la contaminación fecal es un factor importante en la determinación de la calidad de un cuerpo de agua. El análisis de muestras de agua para determinar la presencia de bacterias coliformes, que habitan normalmente en el intestino del hombre y otros animales de sangre caliente, da una indicación sensible de dicho tipo de contaminación.

Este método es aplicable a todo tipo de agua, exceptuando aguas salinas con altos contenidos de diatomeas o cuando números grandes de otros organismos puedan interferir con el crecimiento.

Desarrollo

El método se basa en la filtración de una muestra directa o una alícuota de la muestra a través de una membrana de celulosa que retiene los organismos, colocando la membrana ya sea en un medio de cultivo selectivo de agar con lactosa. La membrana se incuba durante 24 h ya sea a 35°C – 37°C para la detección de organismos coliformes, o alternativamente a 44,0°C ± 1°C para la presencia de organismos coliformes termotolerantes (fecales).

Se lleva a cabo la cuenta directa de las colonias características desarrolladas sobre la membrana. Finalmente se hace el cálculo del número de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes (fecales) y coliformes totales presuntiva que pueden estar presentes en 100 mL de la muestra.

El análisis bacteriológico de la muestra debe practicarse inmediatamente después de su recolección, así el análisis se incide dentro de las seis horas próximas a la recolección de la muestra. Durante el periodo que transcurre del muestreo al análisis, se debe conservar la muestra a 4°C.



Selección del volumen de muestra

Seleccionar un volumen de muestra tal o una dilución del mismo que dé menos de aproximadamente 100 colonias en una membrana de 47 mm ó 50 mm de diámetro. Para trabajo rutinario se recomienda una muestra de 100 mL. Cuando se espere un contenido alto de bacterias, puede tomarse una muestra más pequeña (20 mL); pero se recomienda poner en el embudo previamente 50 mL de agua de dilución estéril.

Filtración

Colocar las bases en la unidad filtrante y en ambiente estéril, colocar la membrana con ayuda de las pinzas estériles. La cuadrícula de la membrana debe quedar visible.

Colocar el embudo con cuidado y sujetarlo

Agitar vigorosamente la muestra, verter en el embudo y filtrar con ayuda del vacío. Enjuagar con agua de dilución estéril.

Transferencia de la membrana.

Después del último enjuague y terminada la filtración, quitar el embudo y con ayuda de la pinza estéril, levantar la membrana y sobreponerla, ya sea en:

a) Una caja de petri con medio de agar.

Asegúrese que no hay burbujas de aires atrapado entre la membrana y el medio. Para diferentes volúmenes de la misma muestra, puede reutilizarse el equipo de filtración sin desinfectarlo, siempre y cuando se filtren primero las diluciones más altas. Para filtrar otra muestra, usar otro tipo de filtración o bien desinfectar el equipo.

Incubación

Invertir las cajas de petri y colocarlas en una incubadora o baño de agua según sea el caso. Incubar la caja con la membrana ya sea 35°C - 37°C o entre 18 h y 24 h, para aislar bacterias heterotróficas incubar otra membrana ya sea 35°C - 37°C; para aislar los organismos termotolerantes (fecales); incubar la otra membrana a 44°C ± 1°C entre 18 h y 24 h.

El mismo tipo de medio generalmente puede usarse para ambas membranas, pero utilizar el medio MFC solamente a 44 ± 1°C y los medios Endo y LES Endo y Agar cuenta en placa 35°C ó 37°C.



Después de la incubación, las cajas o membranas deben examinarse inmediatamente. Si esto no es posible, almacenarse entre 4°C y 5°C durante períodos cortos, siempre y cuando esto no afecte la apariencia de las colonias.

Organismos coliformes

Examinar las membranas y contar como organismos coliformes presuntivos todas las colonias, independientemente del tamaño que muestren, que tengan las siguientes características después de su incubación a 35°C ó 37°C:

- En caldo o agar Endo: Un color rojo oscuro con brillo metálico verde - dorado.
- En agar LES Endo (Coliformes totales): Un color rojo oscuro con brillo metálico verde - dorado.
- Agar cuenta en placa (bacterias heterotróficas): Se contarán todas las colonias. Es importante hacer notar que las cuentas de colonias en membranas a 36°C ± 1°C y a 44°C ± 1°C son solamente resultados de coliformes presuntivo.