



PLAN MAESTRO
RIO MAGDALENA

4
Calidad del agua



Introducción

La calidad del agua es el conjunto de características físicas, químicas y biológicas, que pueden ser expresadas mediante un índice de calidad de agua, es decir, un valor numérico que mide el estado actual del agua analizada y su posible uso.

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 que repercuten en la calidad de los recursos hidrológicos. Este fenómeno es Global y la ciudad de México no es la excepción.

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 de degradación en la calidad del agua. La descarga de drenajes en los ríos provoca un aumento en la cantidad de materia orgánica, el cual lleva a la alteración del balance de oxígeno y se encuentra frecuentemente acompañada por contaminación microbiana.

Los desechos domésticos, de agricultura y afluentes agroindustriales contribuyen a la contaminación con fosfatos y nitrógeno amoniacal. Los problemas asociados con la agricultura son el aumento en la salinidad, contaminación por nitratos y plaguicidas, así como la erosión del suelo. Esto último produce un alto contenido de sólidos disueltos en el río.

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. De aquí la importancia de evaluar la calidad de agua del río Magdalena para implementar medidas de recuperación.

Con esta finalidad se construyó un Índice de Calidad del Agua (ICA) mediante monitoreos a lo largo del río. El recorrido en campo ha permitido la elección de los sitios de muestreo tanto en la zona de



suelo de conservación, en la zona de transición rural-urbana, así como en la zona de suelo urbano.

La toma de muestras en los sitios seleccionados, así como su análisis *in situ* y en laboratorio, ha permitido obtener resultados en función de los parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad, temperatura, sólidos disueltos totales, nitratos, alcalinidad, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Carbón Orgánico Total (COT) y microbiológicos: coliformes totales y fecales útiles para evaluar el estado actual del agua.

Así también, se ha contabilizado el número de descargas residuales directas al río (inventario de descargas), de las cuales se han localizado y monitoreado las que han tenido flujo en la fecha de muestreo, con la finalidad de determinar tanto el gasto de las mismas, como el aporte de materia orgánica medida como: Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Carbono Orgánico Total y organismos coliformes fecales.

Cabe destacar que el análisis de la Calidad del Agua fue realizado mediante dos estudios complementarios para tener un diagnóstico más completo.



4.1 Evaluación de la Calidad de Agua Superficial Mediante Parámetros Físico-Químicos e Indicadores Microbiológicos y Algales

4.1.1 Características Biológicas y Parámetros Microbiológicos

Los ríos son ecosistemas complejos consistentes en diferentes biotipos y comunidades bióticas. El ecosistema comprende la zona acuática, propiamente dicho la zona léntica (zona de flujo e intercambio de agua) y la zona terrestre. Para los propósitos de calidad de agua, la zona léntica es la más importante. Las características de cada hábitat varían desde el nacimiento del río, a lo largo del mismo y en sitios de descargas eventuales, consecuentemente, las comunidades biológicas también varían no solo de sitio a sitio sino en el trayecto de la longitud del río.

En el río Magdalena la contaminación fecal es el principal problema a resolver en el aspecto de calidad del agua, donde todavía desechos humanos y animales no son adecuadamente colectados y tratados. Esta situación es más crítica en la zona urbana donde el crecimiento de la población ha excedido la velocidad del desarrollo de los sistemas de drenaje y tratamiento.

El origen de microorganismos patógenos radica en la contaminación de agua superficial por materia fecal humana. Las heces pueden contener una gran variedad de patógenos intestinales, los cuales en su mayoría son bacterias que pueden causar enfermedades gastrointestinales tan simples como una diarrea hasta muy serias e inclusive fatales tales como tifoidea, disentería y cólera. También pueden estar presentes en el agua otros microorganismos como virus, protozoarios y algas capaces de producir toxinas y transmitir o causar enfermedad.

Las descargas provenientes de drenajes municipales, desechos de agricultura y aguas domésticas son la fuente principal de contaminación del agua por estos patógenos. También la percolación de lixiviados generados por fosas sépticas. Así también, el uso del cuerpo de agua como fuente en ganadería implica la posible contaminación microbiana.



Una descarga municipal sin tratar puede contener de 10 a 100 millones de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de bacterias coliformes por 100 ml y de 1 a 50 millones de UFC de *Escherichia coli* o estreptococos fecales por 100 ml.⁴³

La sobrevivencia de estos patógenos una vez depositados en el río es variable y depende de la calidad del agua receptora, principalmente de los niveles de oxígeno, nutrientes y temperatura. Una vez depositados en el agua dichos microorganismos se adsorben al suelo o al sedimento del río.

Las aguas superficiales que se encuentran en áreas inclusive alejadas, pueden contener hasta 100 UFC por 100 ml de coliformes. La detección de patógenos diferentes a bacterias fecales es poco común debido a la falta de metodología rutinaria apropiada. El monitoreo de bacterias patógenas es esencial para cualquier estudio de agua, y es fundamental cuando se propone una nueva fuente de agua potable y cuando el uso de la misma es con fines recreativos, esto debido al posible riesgo de infección por contacto con el aerosol o por ingestión accidental del agua.

Las bacterias pueden ser contadas por el crecimiento de las colonias en un medio determinado, por el incremento de la turbiedad en un medio líquido, por el crecimiento de colonias en un filtro y medio de cultivo, o por la producción de gas después de la incubación en un cierto medio de cultivo.

4.1.1.1 Coliformes Totales (CT)

El término Coliformes Totales (CT) se refiere al grupo de bacterias Gram-negativas que comparten ciertas características. Este grupo incluye a las bacterias termotolerantes y bacterias de origen fecal, las cuales han sido aisladas incluso del ambiente. Debido a esto, la presencia de coliformes totales no necesariamente quiere decir contaminación fecal. Puede deberse a otros factores tales como materia orgánica en el río y a la presencia de otros coliformes.

En el laboratorio los coliformes totales son cultivados en un medio conteniendo lactosa a una temperatura de 35 o 37°C. Son provisionalmente identificados por la producción de ácido y gas, productos de fermentación de la lactosa.



4.1.1.2 Coliformes Fecales (CF)

Este término se usa para denotar organismos que crecen a 44 o 44.5 °C y que tiene la capacidad de producir ácido y gas por la fermentación de lactosa. La presencia de estos microorganismos indica contaminación fecal. La estimación puede hacerse de acuerdo a la técnica de Número Más Probable (NMP) también conocida como tubos múltiples o por la técnica de filtro de membrana.

La técnica de NMP nos permite estimar el número de coliformes fecales en un volumen dado (generalmente 100 ml) de muestra de agua. La cuantificación de estos microorganismos se realiza mediante la inoculación de un volumen de muestra en un determinado número de tubos, los cuales contienen un medio de cultivo adecuado para su desarrollo a una temperatura idónea (44.5 °C). El número mas probable (NMP) de organismos en la muestra original se calcula a partir de estimaciones estadísticas de los tubos que tengan una reacción positiva (turbiedad y producción de gas) y se reporta con NMP/100ml.

En la zona rural del río Magdalena la concentración de bacterias Coliformes Fecales no causan peligro alguno ya que se mostraron ausentes; sin embargo, donde empieza la zona urbana las concentraciones de dichos microorganismos se igualan a las reportadas en las aguas residuales y por lo tanto estas descargas están contaminando la calidad de agua del río y representan un riesgo para las actividades recreativas con contacto directo. La probable fuente en el punto de muestreo donde inicia la zona urbana puede ser de origen animal si se toma en cuenta que hay un establo cerca. Para los sitios restantes, la contaminación viene de actividades humanas ya que las descargas están pegadas a edificios de gobierno, hoteles, hospitales y casa habitación. Por lo que se recomienda tratar las aguas antes de descargarlas en todos los casos.

4.1.2 Indicadores Algales

4.1.2.1 Especies de diatomeas presentes en el río Magdalena

Las algas han sido utilizadas desde la década de 1950 como indicadores de agua limpia o sucia dependiendo de la variedad de sus especies.⁴⁰ Este criterio se utiliza en la actualidad. Es fundamental identificar las especies para diferenciar con exactitud las zonas de contaminación por medio de las algas como organismos indicadores.

Los resultados indican que de un total de 316 especies de algas 82 se registraron en el 4to Dinamo, seguido de 66 en el 2do Dinamo. Dicha abundancia de especies significa que el agua es limpia, tiene nutrientes y la luz solar penetra libremente lo cual ayuda al crecimiento de una variedad de algas (ver anexo).

Principalmente en el 4to Dinamo las algas se encuentran en abundantes y con una mayor diversidad, sin embargo, en los sitios de muestreo en donde hay contaminación varias de las especies registradas en el dinamo desaparecen, tal como se puede observar al llegar a la localidad de la Cañada donde únicamente se registraron 16 especies (solo una quinta parte de las especies que se reportan en el 4to Dinamo).

La literatura reporta que una vez que un cuerpo de agua o corriente ha sido contaminada por desagües domésticos o aguas negras, las algas presentes tienden a desaparecer y a predominar las más resistentes, lo que coincide con los resultados obtenidos.⁴¹

Aunado a lo anterior, se observó que las especies que se encontraron exclusivamente en una sola localidad en su mayoría corresponden a el 4to Dinamo como son las especies: *Cyclotella ocellata*, *Achnanthes inflata*, *Caloneis silícula*, *Frustulia romboides*, *Gomphonema acuminatum*, *Navicula goeppertiana*, *Pinnularia divergentisima*, *Surirella bifrons*, *Surirella brightwellii*, Solo una especie *Melosira* sp se registro en el 2do Dinamo.

Las especies que predominaron en todas las localidades fueron: *Achnanthes inflata*, *Diatoma mesodon*, *Fragilaria capucina*, *Cymbella silesiaca*, *Gomphonema parvulum*, *Pinnularia divergentisima*, *Reimeria sinuata*, *Nitzschia palea*. Dichas especies pueden ser



Cosmopolitan o sea que se adaptan a todas las condiciones medioambientales, faltaría verificar este aspecto.

Finalmente la mayor parte de las especies que se encontraron en la Cañada son del tipo de las Cosmopolitas o fueron las que resistieron las primeras manifestaciones de contaminación, ninguna especie se identificó como exclusiva para esta localidad. Se espera en la zona de área protegida una mayor riqueza de especies con abundancias equilibradas entre 8 a 10 especies, mientras que en la zona urbana se espera que la riqueza de especies disminuya y dominen de 3 a 5 especies del género *Nitzschia*, hasta incluso su desaparición en las zonas con mayor alteración. Al aumentar los elementos nitrogenados en el agua de la zona urbana (nitritos, nitratos e ion amonio) y fosfatos, sólo algunas especies de *Nitzschia* pueden tolerarla (ver anexo).



4.1.3 Índice de Calidad del Agua (ICA)

4.1.3.1 Definición

El Índice de Calidad del Agua (ICA) es una forma simplificada, expresada en un valor numérico que hace posible comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua en base a un grupo de parámetros.¹⁵

Durante el monitoreo de un río, el cual tenga por objetivo detectar el grado de deterioro del agua que lo compone, se genera una gran cantidad de datos proporcionados por la medición de diversos parámetros dimensionalmente distintos, esto dificulta detectar los patrones de contaminación. Con el propósito de integrar la información generada por los distintos parámetros evaluados, surge la necesidad de crear los sistemas de índices de calidad. Los índices de calidad del agua, para ser considerados como tales, deben cumplir con los siguientes objetivos:

- Uso de parámetros representativos de los objetivos de calidad y uso.
- Sensibilidad a las variaciones de los parámetros de importancia para los objetivos de calidad y uso.
- Capacidad de representar adecuadamente las variaciones en las condiciones reales del curso de agua.
- Correlación con otros índices.
- Potencialidad de determinación automática, mediante el uso de parámetros medibles en tiempo real.
- Factibilidad de reproducción.

Así, los primeros intentos para generar una metodología unificada para el cálculo de un Índice de Calidad del Agua se refirieron a los realizados por Dinius.³⁹

Los parámetros a determinar varían de acuerdo al país y al sistema de clasificación utilizado. Distintos sistemas de clasificación de la calidad del agua han sido desarrollados en varios países. Por ejemplo, en España se utilizan dos distintos Índices, uno es el de Calidad General (ICG) y otro es el índice biótico Biological Monitoring



Working Party (BMWP). En el caso de Perú se utiliza el Índice de Calidad de Agua Superficial (ISCA). En República del Salvador es utilizado el ICA y en Canadá el Water Quality Objective (WQO).³⁷

En México se ha calculado el Índice de Calidad del Agua (ICA)^{2, 3,8} de acuerdo con la metodología propuesta por la Comisión Nacional del Agua,¹¹ Hernández en 2004 calculó este índice considerando 12 parámetros: temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad, turbiedad, demanda bioquímica de oxígeno, grasas y aceites, coliformes fecales, coliformes totales, nitrógeno total, fósforo total, y sólidos suspendidos totales (cuadro 2).

Los índices individuales (I_i) y los factores de ponderación (W_i) se incluyeron en la siguiente fórmula:

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

Los valores de ICA se consideran en el intervalo de 0 a 100%: 0 corresponde a un agua altamente contaminada, 100 corresponde a un agua con excelente calidad, citado por Hernández en 2004.¹¹ Este índice sólo se aplica a los cuerpos de agua dulce y, por lo tanto, es aplicable para determinar el ICA en el río Magdalena.

4.1.3.2 Resultados de ICA durante el período de secas.

Se seleccionaron diecinueve sitios de muestreo a lo largo del río Magdalena, desde su nacimiento en Cieneguillas hasta el cruce con el río Churubusco. Las coordenadas (cuadro 1) se registraron con un sistema de geoposicionamiento (GPSMAP 60CSX).

Cuadro 1.
UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE
MUESTREO PARA AGUA SUPERFICIAL

Número	Descripción	Coordenadas NORTH	Coordenadas WEST
1	Nacimiento del río.	19°14'.649''	99°19'.961"
2	Primer presa de concreto. Cieneguillas.	19°14'.596''	99°19'.917"
3	Cuarto dinamo.	19°15'.935''	99°17'.653"
4	Atlitlic .Al final de la comunidad	19°17'.100''	99°16'.394"
5	Zona de captación de la planta potabilizadora.	19°17'.20.93''	99°15'.88"
6	Después de la primera planta potabilizadora	19°17'.369'	99°15'.889"
7	Antes de la zona de captación de la nueva planta potabilizadora. La Cañada.	19°17'.990'	99°15'.048"
8	Después de nueva planta potabilizadora.	19°18'.033''	99°14'.885"
9	Boulevard Benito Juárez. A un lado de la estación de autobuses.	19°18'0.93''	99°14' 53.45"
10	A un lado de la ciclista y el deportivo Primero de Mayo.	19°18'.221''	99°14'.235"
11	Antes del río Eslava.	19°18'.208''	99°14'.235"
12	Después del río Eslava.	19°18'.227''	99°14'.242"
13	Foro cultural.	19°18'.258'	99°13'.983"
14	Block Buster.	19°18'.618''	99°13'.495"
15	Callejón Río Magdalena.	19°18'.709''	99°13'.496"
16	Final del callejón Río Magdalena	19°18'.654''	99°13'.4841"
17	Atrás del hotel Camino Real de Pedregal. Bajando por Nayarit (cerca de Periférico).	19°18'.8451''	99°13'.317"
18	Presa Anzaldo	19°18'.893''	99°13'.277"
19	Avenida Churubusco y Avenida Coyoacán	19°19'.233''	99°13'.173"

Fuente: Instituto de Ingeniería de la UNAM. Coordinación de Ingeniería ambiental. México DF. 2008. Ver mapa "muestreo de agua superficial".



Para la selección de sitios de muestreo se consideraron los criterios mencionados en National Handbook of Water Quality Monitoring³, por ejemplo la accesibilidad, profundidad, presencia de población, descargas y presencia de otras corrientes como arroyos. La metodología de muestreo fue realizada de acuerdo a la NOM-014-SSA1-1993⁴ que refiere los procedimientos sanitarios para el muestro de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.

El Índice de Calidad del Agua (ICA) fue calculado de acuerdo a la metodología propuesta por la Comisión Nacional de Agua, 1998^(1,2). tomando en cuenta: Temperatura (°C), pH, turbiedad (UTN), conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Oxígeno Disuelto (OD) expresado en porcentaje, la densidad de bacterias Coliformes Totales (CT) y bacterias Coliformes Fecales (CF) se cuantificaron en UFC/100mL y los siguientes parámetros se reportan en mg/L: Sólidos Suspendedos Totales (SST), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), grasas y aceites (GA), fósforo total (PT), nitratos (N-NO_3), nitrógeno amoniacal (N-NH_3), Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM). Los valores calculados para los parámetros evaluados se presentan en el cuadro 1.

Los parámetros medidos *in situ* fueron: Temperatura (T), Conductividad, Sólidos Disueltos Totales (SDT) y Oxígeno Disuelto (OD) con equipos para campo. Turbiedad (t), pH, Sólidos Suspendedos Totales (SST), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), grasas y aceites (GA), fósforo total (PT), nitratos (N-NO_3), nitrógeno amoniacal (N-NH_3), Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), Coliformes Totales (CT) y Coliformes Fecales (CF) fueron determinados en el laboratorio^(7,10).

Cuadro 2
PARAMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EVALUADOS EN EL
RÍO MAGDALENA PARA CÁLCULO DEL ICA

Parámetros								
Sitio	T °C	pH	Turbiedad UTN	Cond μ S/cm	SST mg/L	SDT mg/L	DBO ₅ mg/L	OD %
1	8.03	7.2	1.6	76.7	15.3	39.2	2.4	95.7
2	8.33	7.5	2.1	72	16.7	34.1	6.0	92.1
3	8.47	7.6	0.4	70	11.7	36.5	2.9	91.9
4	10.17	7.8	0.6	83.3	9.8	41.9	2.6	92.8
5	11.1	7.8	0.4	89	10.9	42.5	2.9	93.6
6	12	7.9	3.3	93	12	44.6	3.1	92.6
7	13.3	7.8	1.6	98	16.9	43.8	3.4	93.2
8	8.93	7.6	8.4	200	11.4	61.1	3.4	92.7
9	10.4	7.7	12.6	173.3	25.7	82.5	8.9	86.6
10	11.5	7.5	26	310	57.8	155.4	23.7	78.3
11	13	7.7	33.2	330	54.8	162	23.1	68.2
12	13.1	7.6	30.6	327	54.8	167.2	23.4	68.6
13	12.9	7.6	21.8	316.7	48.7	158.2	19.7	62.3
14	11.9	7.4	20.1	294	32.4	147.4	12.5	62.6
15	14.3	7.6	61.8	480	86.1	293	35	60
16	14.2	7.5	82.4	582.3	117.7	292	48	68.3
17	16.9	7.6	125.4	623.3	139.7	314.7	53	22
18	19.1	7.6	183.9	726.7	136	363.3	54.2	11
19	19.9	7.5	57.4	653.3	85.3	328.7	34.5	9

Fuente: Instituto de Ingeniería, UNAM. Coordinación de Ingeniería Ambiental, 2008.

Continuación cuadro 2

Fuente: Instituto de Ingeniería. Coordinación de Ingeniería Ambiental. Resultados Promedio

Sitio	GA mg/L	PT mg/L	N-NO ₃ mg/L	N-NH ₃ mg/L	SAAM mg/L	CT UFC/100mL	CF UFC/100mL
1	0	0.0	0.7	□0.06	0.05	4.54E+01	2.63E+01
2	0	0.4	0.95	□0.06	0.05	2.20E+00	1.60E+00
3	0	0.1	65	□0.06	0.05	2.23E+01	2.26E+01
4	0	0.2	80	□0.06	0.05	3.00E+02	1.96E+02
5	0	0.0	95	□0.06	0.05	2.00E+02	5.68E+01
6	0	0.1	55	□0.06	0.05	3.00E+03	4.45E+01
7	0	0.1	2.21	□0.06	0.05	1.00E+04	9.40E+02
8	8	0.0	2.34	□0.06	0.5	2.00E+04	3.46E+03
9	12	0.9	2.9	4.0	0.9	9.00E+06	1.73E+06
10	29	2.7	4.23	22.4	3.7	1.00E+07	7.93E+06
11	54	2.7	4.35	22.3	5.1	1.00E+07	5.64E+06
12	47	2.5	4.18	10.5	5.3	2.00E+07	6.00E+06
13	55	2.3	7.55	21.1	3.6	1.00E+07	2.25E+06
14	43	1.5	3.65	14.6	2.6	1.00E+07	4.06E+06
15	45	6.4	9.95	33.1	11.3	2.00E+07	1.57E+07
16	53	4.8	10.75	37.6	11.3	4.00E+07	1.56E+07
17	57	7.1	8.4	37.0	12.7	3.00E+07	2.58E+07
18	49	6.3	8.2	39.0	12.4	4.00E+07	1.63E+07
19	50	4.0	9.25	28.3	7.5	3.00E+07	2.40E+07

para cinco muestreos realizados de enero a abril del 2008.

Los valores obtenidos para el ICA, se representan como porcentaje y se clasifican de acuerdo a un uso determinado. La clasificación⁶



establecida para cada uno de los puntos de muestreo en el río Magdalena se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 3

ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) PARA EL RÍO MAGDALENA

Sitio de muestreo	Índice de Calidad del agua (% ICA)	Clasificación Uso consumo humano	Clasificación Uso agrícola	Clasificación Uso recreativo
1	94	E	E	E
2	86	A	A	E
3	92	E	E	E
4	74	LC	A	E
5	84	A	A	E
6	85	A	A	E
7	70	LC	A	E
8	66	C	LC	A
9	49	FC	C	LC
10	38	EC	C	C
11	34	EC	C	C
12	30	EC	C	C
13	35	EC	C	C
14	39	EC	C	C
15	31	EC	C	C
16	28	EC	FC	FC
17	21	EC	FC	FC
18	16	EC	EC	EC
19	20	EC	EC	EC

Fuente: Elaboración Instituto de Ingeniería. Coordinación de Ingeniería Ambiental. UNAM. 2008. E=excelente; A=aceptable; LC=levemente contaminada; C=contaminada; FC=fuertemente contaminada; EC=contaminada en exceso.

4.1.3.3 Usos del agua de acuerdo al índice de calidad

El valor numérico obtenido del ICA en México, sirve para definir seis rangos de calidad de agua: Excelente (E); Aceptable (A); Levemente Contaminada (LC); Contaminada (C); Fuertemente Contaminada (FC) y Excesivamente Contaminada (EC). En función de ésta clasificación se establecen los siguientes criterios de clasificación de acuerdo al valor de ICA para el uso de agua en carácter de potable (cuadros 3 y 4).¹⁵

Cuadro 4

CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SEGÚN EL VALOR DEL ICA, PARA SU USO COMO AGUA POTABLE

Clasificación	Rango	Requerimiento
E	90-100	No requiere purificación para consumo
A	80-90	Purificación menor requerida
LC	70-80	Dudoso su consumo sin purificación
C	50-70	Tratamiento de potabilización necesario.
FC	40-50	Dudosa para consumo
EC	0-40	Inaceptable para consumo

Cuadro 5

CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SEGÚN EL VALOR DEL ICA, PARA SU USO AGRÍCOLA

Clasificación	Rango	Requerimiento
E	90-100	No requiere purificación para riego
A	70-90	Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua
LC	50-70	Utilizable en la mayoría de los cultivos



C	30-50	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos
FC	20-30	Uso solo en cultivos muy resistentes
EC	0-20	Inaceptable para riego

Clasificación para uso consumo humano

Dentro de ésta clasificación, en el sitio 1(nacimiento del río) y el sitio 3 (cuarto dinamo), el agua presenta una calidad “excelente” lo que indica que no se requiere purificación para éste uso determinado (cuadro 3). Esta clasificación se determinó de acuerdo a los 15 parámetros evaluados por el Instituto de Ingeniería, sin embargo debe tomarse en cuenta que para su distribución, embotellamiento y comercialización se debe cumplir con la normatividad vigente NOM-127-SSA1-1994⁵, considerando que además de los parámetros aquí presentados se deben evaluar parámetros adicionales como presencia de metales, plaguicidas y características radiactivas.

Cuadro 6

CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SEGÚN EL VALOR DEL ICA, PARA SU USO COMO AGUA POTABLE

Clasificación	Color	Rango	Requerimiento
E	Azul marino	90-100	No requiere purificación para consumo
A	Azul claro	80-90	Purificación menor requerida
LC	Verde oscuro	70-80	Dudoso su consumo sin purificación
C	Verde claro	50-70	Tratamiento de potabilización necesario.
FC	Amarillo	40-50	Dudosa para consumo
EC	Rojo	0-40	Inaceptable para consumo



Los sitios 2 (primera presa), 5 (captación planta potabilizadora) y 6 (después de la planta potabilizadora); presentan una calidad de agua “aceptable” para ésta clasificación. Esto quiere decir que se sugiere un proceso de purificación.

La clasificación establecida para los sitios mencionados anteriormente, concuerda con la evaluación realizada mediante la identificación de especies de algas. Las especies identificadas son un indicador biológico de aguas limpias para el río Magdalena en su área natural. Los resultados indican que de un total de 316 especies identificadas, 82 se registraron en el 4to dinamo y 66 en el 2do dinamo. Esta abundancia de especies significa que el agua es limpia, tiene nutrientes y la luz solar penetra libremente, lo cual ayuda al crecimiento de gran diversidad de algas. *Reimeria sinuata* fue, junto con *Achnanthes lanceolata* la especie más abundante en el área natural.

Los sitios 4 y 7, presentan un deterioro. La calidad el agua, evaluado 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 mantener a los trucheros que hay en cada vivienda que se dedica al comercio de truchas.

Las descargas al río que existen en esta zona, son el producto de estos trucheros, los cuales cabe insistir cuentan con un suministro de agua proveniente de arroyos ininterrumpido durante todo el día. Se analizaron muestras de estas descargas y no representan una fuente de contaminación importante, ya que los valores obtenidos para DBO₅ son menores a 2.0 mg/L mientras que la densidad de bacterias Coliformes Fecales y Totales se reportan como ausentes. Estos parámetros indican características de aguas limpias¹¹ y no contribuyen a la contaminación del río.



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 al río Magdalena.

En referencia a la presencia de indicadores biológicos (algas), en el sitio 7 se registraron únicamente 16 especies, lo que indica contaminación del agua⁹. Esto se debe principalmente a la gran afluencia turística, dado que durante los recorridos al río Magdalena, se observó incluso la realización de eventos sociales, actividades deportivas y recreativas, lo que implica una gran afluencia de visitantes en éste segmento del río.

La calidad del agua continúa deteriorándose, ya que en el sitio número ocho (ubicado después de la nueva planta potabilizadora) se estableció 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) 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, la calidad del agua para consumo humano es inaceptable ya que se encuentra “contaminada en exceso”. En lo que se refiere a los indicadores biológicos, éstos sitios que corresponden al área urbana, mostraron dominancia de 2 especies únicamente: *Fistulifera saprophila* y *Nitzschia palea*, las cuales son especies cosmopolitas típicas de aguas con altos valores de materia orgánica ó fuerte contaminación reportadas en otras partes del mundo⁹.

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 mayor gasto (cuadro 4).

Cuadro 7
APORTACIÓN DEL GASTO DE AGUA RESIDUAL
PROVENIENTE DE DESCARGAS ACTIVAS

Número	Descripción	N ORTH	WEST	Gasto L/s
1	Planta potabilizadora	19°17'.364"	99°15'.858"	1.43
2	Planta potabilizadora	19°17',36"	99°15',87"	0.72
3	Después de la nueva planta potabilizadora.	19°18'.033"	99°18'.890"	0.0008
4	Boulevard Juárez	19°18'0.93"	99°14'53.45"	1.21
5	Edificio CISEN	19°18'.227"	99°14'.242"	0.68
6	Colector Avenida Santa Teresa. Un tubo	19°18'.708"	99°13'.553"	177
7	Colector Avenida Santa Teresa. Dos tubos	19°18'.703"	99°13'.548"	242
8	Detrás del Hotel Camino Real	19°18'.893"	99°13'.277"	0.77
9	Detrás del Hotel Camino Real	19°18'.894"	99°13'.263"	3.74
10	Detrás del Hotel Camino Real	19°18.894	99°13.271	34.5

Fuente: Instituto de Ingeniería de la UNAM. Coordinación de Ingeniería Ambiental. México DF. 2008. Datos obtenidos de los muestreos realizados de enero a abril del 2008. El gasto presentado es el promedio de cinco mediciones llevadas a cabo durante el día y la hora de las tomas de muestra superficial. Ver mapa "descargas activas muestreadas".

Clasificación para uso en agricultura

En los sitios 1 y 3, el agua presenta una calidad de agua "excelente" para uso agrícola (cuadro 5). Esta clasificación indica que no se requiere purificación para éste uso determinado. Los sitios

2, 4, 5, 6 y 7 presentan una calidad de agua “aceptable” para uso en agricultura. Esto quiere decir que se sugiere un proceso de purificación para cultivos que requieran de alta calidad de agua.

Cuadro 8

CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SEGÚN EL VALOR DEL ICA, PARA SU USO EN AGRICULTURA

Clasificación	Color	Rango	Requerimiento
E	Azul marino	90-100	No requiere purificación para riego
A	Azul claro	70-90	Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua
LC	Verde oscuro	50-70	Utilizable en la mayoría de los cultivos
C	Verde claro	30-50	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos
FC	Amarillo	20-30	Uso solo en cultivos muy resistentes
EC	Rojo	0-20	Inaceptable para riego

Para el sitio de muestreo número ocho, la calidad del agua para éste uso determinado es “levemente contaminada”, lo que significa que es utilizable en la mayoría de los cultivos. Del sitio 9 al 15 la calidad del agua es “contaminada” por lo que se requiere tratamiento para la mayoría de los cultivos. Después en los sitios 16 y 17 se evaluó que el agua se encuentra “fuertemente contaminada” y se recomienda su uso específico para el riego de cultivos muy resistentes.

En los sitios 18 y 19 se determinó que el agua es inaceptable para su uso en agricultura, debido a que se clasificó como “contaminada en exceso”.

Clasificación para uso recreativo.

De los sitios 1 al 7, la calidad de agua se clasificó como “excelente” para uso recreativo (cuadro 9). Esta clasificación indica que se puede practicar cualquier tipo de deporte acuático.

Cuadro 9

CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SEGÚN EL VALOR DEL ICA, PARA SU USO RECREATIVO

Clasificación	Color	Rango	Requerimiento
E	Azul marino	70-100	Cualquier tipo de deporte acuático
A	Azul claro	50-70	Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias
LC	Verde oscuro	40-50	Dudosa para el contacto con el agua.
C	Verde claro	30-40	Evitar contacto directo, ingresar solo con lanchas
FC	Amarillo	20-30	Contaminación visible , evitar cercanía
EC	Rojo	0-20	Inaceptable para recreación.

Para el sitio de muestreo número 8, la calidad para este uso en particular es “aceptable”, lo cual indica que se deben restringir los deportes de inmersión, y sobre todo evitar la ingestión de agua en este sitio, dada la presencia de bacterias. En el sitio 9, la calidad es “levemente contaminada”, es decir, no se recomienda el contacto directo. Del sitio 10 al 15 la calidad del agua es “contaminada” por lo que se debe evitar el contacto directo con el agua, sólo se debe ingresar al cuerpo de agua con lanchas.

Para los sitios 16 y 17 el agua se clasificó como “fuertemente contaminada”, lo cual implica una contaminación visible, por lo que se recomienda evitar las cercanías. En los sitios de muestreo 18 y 19 es “contaminada en exceso”, por lo que es inaceptable para éste uso en particular.



El Índice de Calidad del Agua en el río Magdalena se modifica conforme hay una aproximación a la zona urbana. La calidad del agua en general se deteriora desde sus inicios principalmente por influencia antropogénica. Conforme se aproxima hacia la zona urbana, la fuente principal de contaminación al río, está dada por el aporte de agua residual proveniente en mayor cantidad del drenaje marginal. Es importante mencionar que el ICA establecido en éste documento, se calculó con los datos obtenidos para la época de estiaje, los cuales pueden variar en época de lluvias, por lo que se sugiere realizar la caracterización del río en ésta época.

Se recomienda ampliar las investigaciones relacionadas con los indicadores biológicos, principalmente donde se identificó gran cantidad de especies de algas, esto debido a que algunas especies producen metabolitos (sustancias extracelulares) que causan mal olor y sabor al agua. Estos metabolitos pueden cambiar las propiedades organolépticas del agua, las cuales no se encuentran incluidas en el ICA y pueden ocasionar que la calidad del agua sea inaceptable para consumo humano.

4.1.3.4 Origen de la contaminación microbiológica

Para este estudio se seleccionaron 18 sitios, desde su origen hasta su desembocadura en Río Churubusco, que se consideran representativos del río. La selección fue hecha con base en los afluentes y principales aportes, así como la presencia de elementos que puedan alterar el estado del río, como canales que transportan agua de desecho y actividades humanas.

Para el proyecto las estaciones propuestas para el monitoreo en el AN (Área Natural), y ZU (zona urbana) del río fueron las señaladas en el Cuadro 1.



Cuadro 10

**SITIOS SELECCIONADOS PARA UN MUESTREO A LO LARGO DEL RÍO
MAGDALENA, DISTRITO FEDERAL.**

Sitio	Descripción	UTM (Coord X)	UTM (Coord Y)
AN0	Origen del río	464728	2128487
AN1	Cieneguillas	464877	2128149
AN2	Ecotono, donde cambia la vegetación de <i>Pinus</i> a <i>Abies</i>	466901	2129031
AN3	Posterior al Truchero	468219	2129284
AN4	Segundo Dinamo, antes de la obra de toma de la planta potabilizadora en Los Dinamos	471370	2132235
AN5	Primer Dinamo, antes de la obra de toma de la nueva planta potabilizadora en La Cañada	473758	2133833
ZU1	Terminal de autobuses Contreras, puente entre la terminal y la zona de casas	474345	2134026
ZU2	Ciclopista	474782	2134150
ZU3	Río Magdalena antes de la confluencia con el río Eslava	475101	2134234
ZU4	Río Eslava antes de la confluencia con el río Magdalena	475104	2134201
ZU5	Después de la confluencia del río Magdalena con el río Eslava	475145	2134208
ZU12	Conjunto Residencial Pedregal 2	476133	2134744
ZU6	Después del puente de Camino a Santa Teresa y Av. México, frente al Blockbuster	476433	2135075
ZU7	Santa Teresa sobre Av. México, donde salen dos tubos de drenaje	476420	2135214
ZU8	Santa Teresa sobre Av. México, donde sale un tubo de drenaje de Av. San Francisco	476429	2135220
ZU9	Hospital Ángeles del Pedregal a un costado de salida del estacionamiento a lateral del Periférico	476794	2135467
ZU11	Afluente río Magdalena a la Presa Anzaldo	476962	2136084
ZU10	Viveros de Coyoacán	481982	2140427

Fuente: Instituto de Ingeniería, UNAM. Coordinación de Ingeniería Ambiental, 2008.



Las muestras se colectaron en botellas de polipropileno previamente esterilizadas, 3 L para las pruebas microbiológicas (detección de indicadoras) y 3 L para las pruebas fisicoquímicas. Las muestras fueron mantenidas en refrigeración a 4°C y procesadas para las pruebas de bacterias indicadoras y sólidos totales durante las 24 horas posteriores a su colecta. Las bacterias indicadoras; coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y enterococos fecales (EF) fueron analizadas por el método de filtración a través de membrana de acuerdo con APHA (2005) y Millipore (2000). Se utilizaron los medios M-Endo, M-FC y K-FC (Difco) respectivamente, de acuerdo con ésta técnica. Los resultados fueron reportados en unidades formadoras de colonias (UFC) en 100 mL, el análisis se realizó por triplicado para cada sitio, factor de dilución y medio de cultivo, obteniéndose mediante la media geométrica el resultado para cada sitio. Se seleccionaron 5 colonias de las positivas obtenidas por el método anteriormente descrito en cada uno de los medios utilizados para el análisis y se enviaron a la Facultad de Medicina, UNAM para su identificación. La identificación de bacterias se llevó a cabo a nivel de género y especie así como resistencia a antibióticos con un equipo semi-automatizado DADE MicroScan, AutoScan-4 DADE International West Sacramento, CA, EU, en el Laboratorio de Inmunología Molecular Microbiana de la Facultad de Medicina, UNAM, bajo la dirección de la Dra. Yolanda López Vidal, con el apoyo de la QFB Rosa Isabel Amieva.

Las pruebas fisicoquímicas realizadas in situ fueron: conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura y turbidez, dichos parámetros fueron medidos con el multiparámetros HACH (Portable Multiparameter Sension 156, Loveland, Colorado, EU) y el Multiparámetros YSI (Modelo 6600-m, Yellow Springs, Ohio, EU). En el laboratorio se realizaron las pruebas de: amonio, nitratos, nitrógeno total (Nt), ortofosfatos, fósforo total (Pt), Carbono Orgánico Total (COT), y sólidos disueltos totales (SDT). Las muestras para fisicoquímicos fueron procesadas en el Espectrofotómetro portátil HACH (Modelo DR2400, Loveland, Colorado, EU) y digestor HACH (Digesdahl 23130-20, Loveland, Colorado, EU) de acuerdo con las técnicas propuestas en los manuales de operación (HACH, 1999, 2002).

Resultados y discusión

Se realizaron dos campañas de muestreo en la temporada de secas, entre el 4 de febrero y el 28 de abril de 2008. Los resultados bacteriológicos se presentan en el Cuadro 11, como resultado de las medias geométricas de ambas campañas del muestreo expresadas como UFC/100 mL.

Cuadro 11.
**PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN AGUA DEL RÍO MAGDALENA
DURANTE MUESTREO DE SECAS 2008 (FEBRERO-ABRIL).**

	CT	CF	EF	CF/EF	Fuentes potenciales de contaminación
AN-0		0	6	0	- No determinado por ausencia de enterococos
AN-1		145	41	0	- No determinado por ausencia de enterococos
AN-2		81	44	3	17.35 <i>Fuerte evidencia de contaminación humana</i>
AN-3		50	15	8	1.83 <i>Contaminación predominantemente animal</i>
AN-4		448	97	3881	0.03 <i>Fuerte evidencia de contaminación animal</i>
AN-5		7089	2013	6228	0.32 <i>Fuerte evidencia de contaminación animal</i>
ZU-1		1754348	6224658	4320798	1 Contaminación predominantemente animal
ZU-2		26004698	36887592	4838571	8 Contaminación predominantemente humana
ZU-3		36043881	28985582	11887604	2 Contaminación predominantemente humana
ZU-4		376406197	30456294	10347559	3 Contaminación predominantemente humana
ZU-5		47427250	36624448	10291280	4 Contaminación predominantemente humana
ZU-12		51572860	232751074	6535641	36 <i>Fuerte evidencia de contaminación humana</i>
ZU-6		77528367	169246947	3195641	53 <i>Fuerte evidencia de contaminación humana</i>
ZU-7		326247416	185350623	5096150	36 <i>Fuerte evidencia de contaminación humana</i>
ZU-8		332200191	243763876	4880624	50 <i>Fuerte evidencia de contaminación humana</i>
ZU-9		140887186	169760825	34352494	5 <i>Fuerte evidencia de contaminación humana</i>
ZU-10		35811036	244972346	3919742	62 <i>Fuerte evidencia de contaminación humana</i>
ZU-11		80878916	99016114	12164595	8 <i>Fuerte evidencia de contaminación humana</i>



Fuente: Instituto de Ecología, UNAM, 2008. CT, Coliformes Totales; CF, Coliformes Fecales; EF, Enterococos Fecales. *Itálicas corresponden solo a los resultados de la primera campaña de muestreo.*

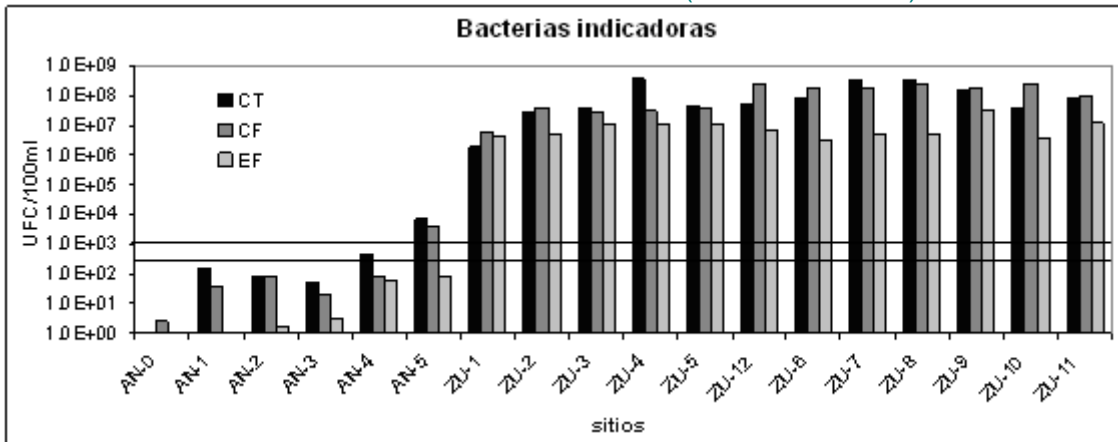
Geldreich y Kenner (1969) utilizaron el resultado del cociente de los CF/EF para tratar de determinar el posible origen de las diversas fuentes de contaminación considerando las características generales del Cuadro 11.

Cuadro 12.
COCIENTE CF/EF PROPUESTO POR GELDREICH Y KENNER (1969).

CF/EF	<i>Fuentes potenciales de contaminación</i>
>4.0	<i>Fuerte evidencia de contaminación humana</i>
2.0-4.0	<i>Contaminación predominantemente humana</i>
0.7-2.0	<i>Contaminación predominantemente animal</i>
<0.7	<i>Fuerte evidencia de contaminación animal</i>

Considerando el área natural, en los sitios más cercanos al nacimiento del río, los conteos de bacterias se encuentran en el intervalo de 1×10^2 a 1×10^3 UFC, mientras que en los sitios AN4 y AN5, en los cuales se observa mayor influencia por actividades humanas, los conteos se incrementan por encima de este intervalo para el caso de los tres grupos bacterianos analizados: CT, CF y EF; lo cual representa un riesgo potencial para las actividades recreativas con contacto directo, ya que rebasa las 240 UFC/100 mL de bacterias indicadoras en promedio mensual en servicios al público con contacto directo y las 1,000 UFC/100 mL promedio mensual en servicios al público con contacto indirecto u ocasional establecido por la norma para agua de reuso (DOF, 1998), como se muestra en la Figura 1 donde se marcan los límites permisibles para su fácil comparación.

Figura 1.
BACTERIAS INDICADORAS DETECTADAS EN EL RÍO MAGDALENA EN LA TEMPORADA DE SECAS (FEBRERO-ABRIL) 2008.



Fuente: Instituto de Ecología, UNAM, 2008. La línea superior representa el nivel máximo permisible de coliformes fecales para actividades recreativas sin contacto directo y la inferior para actividades recreativas con contacto directo.

En la zona urbana el incremento es superior a los seis órdenes de magnitud en todos los sitios y bacterias indicadoras, sobresaliendo para el caso de los coliformes totales la ZU4 que corresponde al afluente del río Eslava, que en la temporada de secas 2008 presentó una profundidad, en general, menor de 20 centímetros.

La representación espacial de las bacterias coliformes fecales y enterococos fecales que resultaron ser las más significativas se presentan en el mapa 2. En esta figura se observa claramente el comportamiento de los indicadores bacterianos de muy baja a muy alta densidad, diferenciándose el área natural con relativamente mejor calidad del agua que en la zona urbana.

Para tener una idea del posible origen de la contaminación fecal se utilizó el cociente coliformes fecales/enterococos fecales (CF/EF), propuesto por Geldreich y Kenner (1969). Su uso proporciona resultados generales, da una idea del origen de contaminación sin requerir un amplio conocimiento y puede ser usado en muestras de contaminación reciente (24 horas), con una interpretación cautelosa de los resultados (Toranzos et al., 2007). La limitación del cociente CF/EF se basa en la diferencias cinéticas en la tasa de sobrevivencia

de los dos grupos bacterianos, por lo que deben ser consideradas con cuidado al interpretar estos resultados (Toranzos et al., 2007). Con base en este cociente se determinó que la probable fuente de contaminación posible es tanto de origen humano como animal.

En el área natural si se presenta contaminación mixta, tanto de origen humano como animal, mientras que los puntos de muestreo en la zona urbana presentan contaminación predominantemente humana.

Es importante resaltar que todos los sitios de la zona urbana fueron positivos a las bacterias indicadoras y que esta información se complementa con la identificación a nivel de género o especie de las bacterias con diversas morfologías, realizada con el fin de determinar el riesgo a la salud humana. Esta actividad se llevó a cabo en el Laboratorio de Inmunología Molecular Microbiana de la Facultad de Medicina, UNAM. Los resultados se muestran en el Cuadro 13.

Cuadro 13.

BACTERIAS IDENTIFICADAS EN EL RÍO MAGDALENA EN EL MUESTREO DE ÉPOCA DE SECAS FEBRERO-ABRIL 2008.

Sitios	Enterobacterias gram -	Enterococcus gram +
ZU-4	<i>E.coli</i> , <i>Citrobacter freundii</i> ,	<i>Enterococcus durans/hirae</i> , <i>Enterococcus</i> sp.
ZU-5	<i>E.coli</i> , <i>Klebsiella oxytoca</i>	
ZU-12	<i>E.coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Enterobacter cloacae</i> , <i>Enterobacter gergoviae</i>	<i>Enterococcus faecium</i> , <i>Enterococcus</i> sp.
ZU-6	<i>E.coli</i> , <i>Citrobacter freundii</i> , <i>Vibrio fluvialis</i>	<i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Enterococcus</i> sp.
ZU-7	<i>E.coli</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i>	<i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Enterococcus</i> sp.
ZU-8	<i>E.coli</i> , <i>Klebsiella oxytoca</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Vibrio fluvialis</i>	<i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Enterococcus</i> sp.
ZU-9	<i>E.coli</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Klebsiella oxytoca</i>	<i>Enterococcus faecium</i> , <i>Enterococcus</i> sp.
ZU-10	<i>E.coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Acinetobacter lwoffii</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i>	<i>Enterococcus faecium</i> , <i>Enterococcus</i> sp.
ZU-11	<i>E.coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> ,	<i>Enterococcus durans/hirae</i> , <i>Enterococcus</i> sp.

Fuente: Instituto de Ecología, UNAM, 2008

A lo largo del río se identificaron bacterias de 13 especies, pertenecientes a 9 géneros distintos, tanto al grupo de las bacterias



gram- (*Escherichia coli*, *Citrobacter freundii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella oxytoca*, *Vibrio fluvialis*, *Aeromonas hydrophila*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter lwoffii* y *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter gergoviae*), así como bacterias gram+ (*Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium* y *Enterococcus durans/hirae*). Estos géneros y especies de bacterias fueron aislados de muestras de la zona urbana. Algunas de estas bacterias no son nativas de este ambiente natural y representan organismos exógenos al sistema, confirmando la contaminación fecal, tanto de origen humano como animal.

La determinación de bacterias presentes en el agua del río Magdalena representa una idea global de una fuente de agua superficial que tiene múltiples usos. Los sitios estudiados durante la época de secas de 2008 muestran una imagen parcial de la situación. Es de suponer que el origen de algunas de estas bacterias se debe a las descargas del drenaje municipal y es muy probable, con base en la susceptibilidad antimicrobiana que parte de estas provengan de los desechos originados en hospitales o clínicas.

Considerando las bacterias que se usan comúnmente como indicadores de calidad del agua, el indicador más frecuente cualitativamente fue *Escherichia coli*.

La prevalencia de bacterias patógenas para el hombre aisladas e identificadas fueron *Klebsiella pneumoniae* causante de infecciones respiratorias intrahospitalarias, *Vibrio fluvialis* bacteria patógena, asociada con infecciones gastrointestinales disintéricas y acuosas, ha sido reportado como causante de diarrea tipo cólera con menor severidad. Se detectaron *Aeromonas hydrophila* y *Acinetobacter lwoffii*, bacterias presentes en diferentes tipos de agua sin ser indicadores. Es escasa la información acerca del agua como vehículo importante para la transmisión de estas bacterias, sin embargo, no se descarta la posibilidad de que pueda actuar como vía para la transmisión de estas afecciones (Murray et al., 1995).

La presencia en el sistema acuático de esta diversidad de bacterias indica que existen aportes a la cuenca del río Magdalena, que confirman la presencia de materia fecal, tanto de origen animal como humano. El origen de ésta contaminación no es posible asegurarlo, solo dar una idea global con base en el índice CF/EF. Es



de suponer que el origen de algunas de estas bacterias se debe a las descargas del drenaje municipal y es probable que parte de estas provengan de los desechos originados en hospital, lo cual puede señalarse por la susceptibilidad resistente para *Ampicilina*, *Ampicilina/Sulbactam*, *Piperaciclina*, *Piperacilina/ Tazobactam*, encontrada para el grupo de enterobacterias en las estaciones cercanas al Hospital Ángeles, afluente de Presa Anzaldo y Viveros de Coyoacán.

Es recomendable llevar a cabo el aislamiento e identificación de bacterias en época de lluvias, ya que se ha observado en otros sistemas acuáticos una disminución en la diversidad y número de grupos bacterianos. Esto con la idea de complementar la perspectiva de bacterias patógenas a lo largo del año.

Esta información sobre calidad del agua basada en organismos (bioindicadores) se complementa con el índice de diversidad de diatomeas determinado por el grupo de la Facultad de Ciencias. Las especies de diatomeas características de los sitios del área natural *Achnanthes lanceolata*, *Cocconeis placentula*, *Cymbella silesiaca*, *Navicula cryptocephala*, *Navicula subrhynchocephala* y *Rhoicosphenia abbreviata*, son características de aguas limpias y bajas conductividades (Krammer y Lange-Bertalot, 1988). *Reimeria sinuata* fue junto con *Achnanthes lanceolata*, la especie más abundante en el sitio mejor conservado (AN3). Todas ellas son un referente como indicador biológico para el río Magdalena en su área natural.

Los sitios del área urbana mostraron dominancia de sólo 2 especies *Fistulifera saprophila* y *Nitzschia palea*, características estas como especies cosmopolitas típicas de aguas con altos valores de materia orgánica ó fuerte contaminación en otras partes del mundo (Lange-Bertalot, 1997; Lange-Bertalot y Bonik, 1976). El sitio con mayor número de especies de *Fistulifera saprophila* (ZU7), fue donde se concentran aguas al menos de dos colectores en la zona. Estas especies son indicadores biológicos de contaminación y referentes para el río Magdalena en la zona urbana.

Los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua que son una medición puntual y sirven de apoyo para la interpretación de la presencia de bioindicadores se muestran en el Cuadro 14.

Cuadro 14.
PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS TOMADOS *IN SITU* EN EL MUESTREO DE SECAS EN EL RÍO MAGDALENA, FEBRERO-ABRIL 2008.

Sitios/Parámetros Unidades	pH	T °C	Conductividad µS/cm	Turbidez UNT
AN0	6.6	11.9	34.0	14.2
AN1	6.8	12.0	52.0	14.4
AN2	7.7	14.1	61.0	15.4
AN3	7.3	11.3	51.0	14.4
AN4	7.7	12.1	66.0	14.7
AN5	7.4	12.2	41.0	13.4
ZU1	7.6	11.7	128.0	44.3
ZU2	7.1	14.6	177.0	85.6
ZU3	7.2	14.3	197.0	69.3
ZU4	7.3	17.9	549.0	63.2
ZU5	7.3	15.6	212.0	66.2
ZU12	7.2	11.9	97.0	23.8
ZU6	7.5	14.3	214.0	69.5
ZU7	7.3	19.2	309.0	91.1
ZU8	7.2	18.8	671.0	78.7
ZU9	7.4	18.2	482.0	87.4
ZU10	7.5	18.9	306.0	101.0
ZU11	6.9	18.3	584.0	40.5

Fuente: Instituto de Ecología, UNAM, 2008

Como puede observarse en el origen el río tiene un pH con una ligera tendencia a la acidez y se va neutralizando a lo largo del cauce.

La temperatura tiene fluctuaciones provocadas por la altitud y la hora de la toma de muestra, La conductividad eléctrica es relativamente baja en el área natural, lo que corresponde a las características de un agua relativamente limpia o con baja concentración de iones y los valores más altos (> 500 µS/cm), fueron los registrados en el punto que corresponde al río Eslava, la descarga proveniente de Av. San Francisco y el afluente aledaño a los Viveros de Coyoacán. La turbidez muestra una tendencia a



incrementarse conforme al avance en el cauce del río con excepción del AN5, ZU12, ZU7 y ZU11.

Se tomaron las mediciones de oxígeno disuelto en el primer muestreo de la temporada, pero los electrodos presentaron una falla por lo cual estos parámetros no son reportados y no son considerados en la sumatoria final de parámetros analizados, quedando únicamente 10 parámetros.

Cuadro 15.
PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS ANALIZADOS EN EL LABORATORIO DURANTE EL MUESTREO DE SECAS 2008 (FEBRERO-ABRIL) EN EL RÍO MAGDALENA, D.F.

Sitios	SDT mg/L	Amonio mg/L	Nitratos mg/L	Nt mg/L	Ortofosfatos mg/l	Pt mg/L	COT mg/L
AN-0	3.17	0.02	0.01	0.27	0.07	0.08	1.33
AN-1	2.50	0.03	0.02	0.51	0.25	0.25	1.70
AN-2	5.17	0.03	0.03	0.68	0.33	0.33	1.50
AN-3	9.48	0.02	0.05	0.35	0.50	0.50	3.30
AN-4	10.54	0.02	0.07	0.35	0.38	0.38	3.47
AN-5	37.63	0.02	0.07	0.87	0.43	0.44	4.13
ZU-1	172.34	11.33	0.63	12.33	2.35	4.83	8.12
ZU-2	269.07	33.80	0.95	33.50	10.75	14.03	19.87
ZU-3	262.24	31.57	1.03	29.00	12.30	17.73	19.82
ZU-4	492.05	51.00	1.73	119.17	29.40	57.02	177.50
ZU-5	238.54	30.53	0.98	28.33	10.52	17.17	19.50
ZU-12	105.38	12.92	0.87	18.67	14.19	24.32	16.17
ZU-6	320.46	29.68	1.00	39.67	22.56	28.95	222.83
ZU-7	608.02	35.78	0.68	49.00	29.98	33.52	121.00
ZU-8	525.57	37.82	1.02	51.50	31.20	34.92	152.50
ZU-9	148.03	35.45	0.97	49.83	29.99	32.42	118.50
ZU-10	451.66	39.47	0.90	56.17	30.77	33.68	73.00
ZU-11	286.29	25.60	0.80	32.00	15.40	29.97	81.83

Fuente: Instituto de Ecología, UNAM, 2008. COT, Carbono Orgánico Total; SDT, sólidos disueltos totales.

El amonio es un compuesto nitrogenado que debido a su comportamiento químico es poco estable por lo que su presencia señala contaminación reciente. En el área urbana, su concentración coincide con lo encontrado en la bibliografía para ecosistemas



acuáticos naturales (Campbell), en la zona urbana, los valores presentan una concentración alta señalando mala calidad del agua.

El Carbono Orgánico Total, presenta valores relativamente bajos en el área natural y se incrementa a lo largo del cauce del río, con concentraciones particularmente altas en la zona urbana, con especial énfasis en las estaciones de muestreo ZU4, ZU6, ZU7, ZU8 y ZU9, siendo las descargas urbanas el principal aporte de materia orgánica. Esto puede complementarse con las concentraciones de DBO y DQO reportadas por el Instituto de Ingeniería, UNAM. Los nitratos en el área natural presentaron concentraciones relativamente bajas y en los sitios de la zona urbana no sobrepasaron 1.03 mg/L, mientras que en el afluente del río Eslava las concentraciones fueron las más altas. Los valores de nitrógeno total en el área fueron relativamente bajos y aún cuando se incrementan no son extremadamente altos, con excepción nuevamente del afluente del río Eslava. El fósforo total muestra concentraciones bajas en el área natural, y en la zona urbana se incrementa de manera gradual, hasta encontrarse en concentraciones relativamente altas a partir de la ZU2. La presencia de fósforo puede deberse al aporte de detergentes y en cierta medida de fertilizantes.

Con objeto de llegar a un mapa representativo de calidad del agua, con base en 10 de los parámetros medidos, se ajustaron los datos obtenidos a 5 categorías (Cuadro 16) a los que se les asignó un número del 1 al 5, estos fueron sumados y divididos entre 10. Los datos obtenidos de ortofosfatos no se ilustran en la tabla ni en el mapa final ya que representan la mayor parte del fósforo total.

Cuadro 16.
CATEGORÍAS DE CALIDAD DEL AGUA CON BASE EN 10 PARÁMETROS
MONITOREADOS EN EL RÍO MAGDALENA EN LA TEMPORADA DE SECAS
2008 (FEBRERO-ABRIL).

Categorías	V	Bacterias UFC/100 mL	Conductividad µS/cm	SDT mg/L	Amonio mg/L	Nitratos mg/L	Nt mg/L	Pt mg/L	COT mg/L
Muy bajo	1	0 - 100	0-134	0-100	0.05-0.1	0-0.346	0-20	0-4	0-0.35
Bajo	2	100 - 240	134-268	100-350	0.1-12	0.346-0.692	20-40	4-8	0.35-0.69
Medio	3	240 -1000	268-402	350-720	12-25	0.692-1.038	40-85	8-15	0.69-1.04
Alto	4	1000 - 1x10 ⁶	402-536	720-1200	25-50	1.038-1384	85-100	15-20	1.04-1.38
Muy alto	5	>1x10 ⁶	536-671	>1200	>50	>1384	100-120	>20	>1.38

Fuente: Instituto de Ecología, UNAM, 2008. De acuerdo con APHA, 2005; Campbell, 1987; Jiménez, 2006; Metcalf y Eddy, 1991.

La representación final muestra la calidad del agua en tres fracciones, la primera constituida por el área natural en donde los niveles de contaminantes son relativamente bajos (color verde intenso), una zona de transición con los sitios en la ZU del 1 al 6, exceptuando al sitio ZU4 que corresponde al río Eslava y como se mencionó anteriormente presenta las concentraciones más altas en la mayor parte los parámetros monitoreados. Finalmente una tercera sección en la que las concentraciones son relativamente altas a partir de Santa Teresa frente a Blockbuster hasta los Viveros de Coyoacán.

El río Eslava es el aporte más importante de contaminantes, mismo que se une al río Magdalena en forma intermitente dependiendo del caudal, seguido de aportes de la zona de San Francisco y Anzaldo, por lo que se considera que la desviación de estos aportes disminuiría notablemente el alto grado de contaminación del río Magdalena.

El estudio realizado da una perspectiva de lo que ocurre en la temporada de secas, sin embargo, el comportamiento de este sistema podría ser distinto en la temporada de lluvias por el importante aporte pluvial. En estudios previos realizados en la ZMCM, se ha observado que a pesar de tener dos temporadas



principales (lluvias, secas), el periodo intermedio entre lluvias y secas, también presenta diferencias por lo que se sugiere para dar una perspectiva global en un ciclo anual, la realización de tres muestreos, incluyendo al menos dos campañas de muestreo en cada uno y cubriendo éstas tres épocas a lo largo del ciclo anual.

4.1.4 Antecedentes de Calidad del Agua del Río Magdalena

De los estudios que se han realizado en relación a la calidad del agua en el río Magdalena se encontraron reportes del año 2001, en los cuales la Dirección General del Medio Ambiente y Ecología ha determinado la calidad el agua sólo en una fracción del río, específicamente en el bosque de la Cañada de Contreras localizada en el Primer Dinamo, los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 17.

Cuadro 17

CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO MAGDALENA EN EL BOSQUE LA CAÑADA
Bosque de Contreras, Primer Dinamo

Variable	Resultado
Sólidos sedimentables	< 0.05 mg/L
Sólidos suspendidos	3-16 mg/L
Conductividad	0.21 µ/L
Turbiedad	1-3 UTN
Potencial de hidrogeno	7.53-7.96
Temperatura	7.3-11 °C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	2 a 5 mg/L
Oxígeno Disuelto (OD)	2.38 a 3.36 mg/L
Bacterias coliformes	4.1-88.4 UFC/100 ml
Color	Incolora
Olor	Inodora

Fuente: Dirección General del Medio Ambiente y Ecología, 2001.



Otros de los estudios que se han realizado al respecto, los llevó a cabo la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), quienes han realizado dos tesis de licenciatura cuya finalidad fue evaluar la calidad del agua.

Bojorge en 2006,¹ realizó un estudio determinando la calidad del agua en cuatro estaciones de muestreo a lo largo del río, dos ubicadas en suelo de conservación y dos en zona urbana, en dicho estudio se determinaron parámetros biológicos y fisicoquímicos. Dentro de los primeros están, la riqueza específica, diversidad y abundancia de diatomeas (algas), bacterias coliformes fecales, coliformes totales y enterococos fecales. Los parámetros fisicoquímicos que se determinaron fueron: conductividad, oxígeno disuelto, pH, concentración de nutrientes como amonio, nitratos, y fósforo. La conclusión de acuerdo a los datos que obtuvieron fue que el agua de los puntos monitoreados no es apta para uso y consumo humano según la NOM 127–SSA y que la contaminación aumentó conforme el río fluye hacia la zona urbana.

El segundo estudio que reporta la Facultad de Ciencias se encuentra en proceso y es una tesis de maestría en Ciencias Biológicas.¹⁹ En dicho estudio se fijaron dieciséis estaciones de muestreo desde el nacimiento del río hasta la esquina av. Coyoacán y avenida Churubusco donde se midieron los nutrientes en forma de COT, nitrógeno total, fósforo total, amonio, nitratos, sólidos totales, sólidos suspendidos, coliformes totales, coliformes fecales, y enterococos fecales. De acuerdo a las variables medidas, el autor encontró un cambio en el grado de contaminación conforme se avanza hacia la zona urbana siendo menor en la zona rural y mayor en la zona urbana.

Otro estudio realizado por la planta potabilizadora río Magdalena ubicada en el Primer Dinamo de Contreras, reporta los datos obtenidos en el influente de la planta para el año 2007 (cuadro 18).³⁸



Cuadro 18

CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO MAGDALENA EN EL INFLUENTE

Planta potabilizadora Primer Dínamo

Variable	Resultado	Limite máx. NOM- 127- SSA1-1994
Sólidos disueltos totales (mg/L)	76	1000
Turbiedad (UTN)	2.4	5
Potencial de Hidrogeno	7.77	6.5-8.5
Temperatura (°C)	7.3-11	7.3-11
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	4.74	2 a 5
Coliformes Totales (col/100 ml)	100	Ausentes
Coliformes Fecales (col /100 ml)	1	Ausentes
Color (U Pt/Co)	15	20

Fuente: Sistema de agua de la ciudad de México. Historial de la calidad del agua, Planta Potabilizadora Río Magdalena, 2007.³⁸

Los datos obtenidos en el influente para las variables de coliformes totales y fecales no están dentro de los límites que establece la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994, modificada en 2001) por lo que el agua captada del río Magdalena para la planta potabilizadora es sometida a los procesos de potabilización establecidos por dicha planta para su adecuada desinfección.

4.1.4.1 Recorrido en campo y selección de sitios de muestreo

Para evaluar la calidad el agua del río Magdalena se han realizado recorridos en campo mediante los que se ha inspeccionado el suelo de conservación, la transición rural urbana y la zona urbana con la finalidad de seleccionar los puntos de muestreo 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).^{9, 10, 16}

El muestreo realizado es puntual o discreto. Hasta hoy se han seleccionado quince puntos de muestreo a lo largo del río, desde su nacimiento hasta el hospital los Ángeles (anexo 3). La localización de estos puntos, puede ajustarse dependiendo de los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio.

Las muestras son colectadas en botellas y bolsas estériles sumergidas en el agua superficial tapadas y transportadas en frío al laboratorio del Instituto de Ingeniería. Las mediciones que se llevan a cabo *in situ* son las siguientes: temperatura del agua superficial y ambiente, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales. La preparación de material para el muestreo, el propio muestreo, la conservación y el transporte de las muestras están realizados conforme a la Norma Oficial Mexicana 014-SSA1-1993.



4.2 Aprovechamiento del Agua Potable

Los subsidios al servicio de agua, aunque han fomentado el desarrollo económico, han limitado la capacidad del gobierno para ampliar las redes de servicio, purificar el agua, tratar el agua residual, ya sea antes de eliminarla o para su reúso, y financiar el mantenimiento. En últimas fechas, las autoridades mexicanas han venido aplicando políticas tendientes a administrar con mayor eficiencia los recursos para el suministro de agua en el área metropolitana.^{5, 12}

Sin embargo revertir las tendencias del pasado y ejecutar las nuevas estrategias de conservación y aprovechamiento, no será fácil.

Para administrar óptimamente el suministro y aprovechamiento del agua en la ciudad de México y zona conurbada, será necesario combinar en proporciones adecuadas, la necesidad de obtener nuevas fuente de abastecimiento y sobre todo optimizar más cuidadosamente las ya existentes.^{5, 12}

En este contexto, se debe establecer un orden de prioridades en los lineamientos y políticas a seguir para el aprovechamiento del agua del río Magdalena en la delegación Magdalena Contreras y considerar sus efectos.

Las fuentes de abastecimiento con que cuenta la delegación son:

- Sistema Lerma Sur que cuenta con un gasto total de 200 l/s.
- Sistema Río Magdalena que aporta un gasto de 200 l/s.
- Un sistema de Manantiales conformado por Rancho Viejo, Tepozanes, Los Pericos, Las Ventanas, Malpaso, Las Palomas, El Ocotil, El Sauco, Ojo de Agua, Apapaxtla y El Potrero, que aporta un caudal de 120 l/s.
- Sistema de Pozos que son: Pozo Anzaldo; Pozo Padierna y Pozo Pedregal II.

De acuerdo con lo anterior, el caudal total empleado para el suministro de agua potable en la delegación es de 600 l/s empleándose para su adecuada distribución un total de 39 tanques y rompedores de presión, en tanto que la distribución territorial es



desarrollada mediante 18 km de red primaria y 240 km de red secundaria, cubriendo la red en el 98% del territorio de acuerdo con las condiciones que se mencionan en el cuadro 19.

Cuadro 19
COBERTURA EN EL SERVICIO DE
AGUA POTABLE POR COLONIA, 2002

Cobertura en hrs.	Colonias
24 horas	San Jerónimo Lídice, San Jerónimo Aculco, Héroes de Padierna, San Bartolo Ameyalco, La Malinche, Cuauhtémoc, Barros Sierra, Palmas, El Rosal, El Toro, Potrerillo, Ampliación Potrerillo, Huayatla, Lomas de San Bernabé, Pueblo Nuevo Bajo, Pueblo Nuevo Alto, La Carbonera, Barrio de San Francisco, San Francisco, Barranca Seca, La Cruz, La Concepción, Guadalupe, Pedregal 2, Santa Teresa, U. H. Santa Teresa, Santa Teresa, Conjunto y Residencial Santa Teresa.
12 horas	Las Cruces, El Tanque, Pueblo de San Bernabé Ocotepc, Atacaxco, Vista Hermosa, Palmas, El Rosal, Pueblo Nuevo Bajo y Magdalena Contreras.
6 horas	El Tanque, el Capulín, Tenango, Ampliación San Bernabé y Tierra Unida.
3 horas	Los Padres, Pueblo de San Bernabé, La Concepción, Cazulco, Pueblo de San Nicolás Totolapan, Rinconada Tabaqueros y Ladera de Chisto

Fuente: Programa delegacional de desarrollo urbano. Subdirección de Operación Hidráulica, delegación La Magdalena Contreras.⁶

Respecto a las áreas que carecen del servicio de agua potable, es importante destacar que estas se localizan dentro del suelo de conservación o por arriba de la localización de la infraestructura instalada (tanques), lo que hace muy costosa su incorporación al sistema por red.



Ante esta problemática, se identifica la dotación del servicio mediante hidrantes y camiones cisterna que cubren las demandas en las colonias Gavillero, Huayatla y el Ocotál.

De manera específica, en lo que respecta a la dotación del servicio en las colonias Tierra Colorada Extlahualtongo, es importante destacar que ésta se desarrolla principalmente a través de prestadores de servicio particular, apoyados en la construcción de cisternas clandestinas con tomas directas al Arroyo Chichicaspa.

Para el aprovechamiento del agua superficial del único río vivo que existe en la ciudad de México, “Río Magdalena”, es necesario definir estrategias a largo plazo, por lo que es necesario ampliar y actualizar el conocimiento de la calidad del agua del río, así como determinar las opciones de tratamiento del agua residual para el saneamiento de la cuenca.

Parte del caudal del río Magdalena es captado por la planta de potabilizadora ubicada en el Primer Dinamo, con capacidad de 0.210 m³/s, la cual purifica el agua del río utilizando un tratamiento por coagulación/floculación con hidróxido de calcio y sulfato de aluminio, seguido de sedimentación de alta tasa por gravedad, filtración rápida con grava, arena y antracita, y desinfección con cloro donde aproximadamente la quinta parte de su volumen es aprovechado y potabilizado.¹²

El resto continúa al margen del área natural protegida (ANP) de los dinamos (bosques de la cañada de Contreras), atraviesa el área urbana de la delegación y en los últimos 400m de su trayectoria, recibe las descargas de varios colectores, realizando función de drenaje hasta llegar a la Presa de Anzaldo, para después unirse al río Mixcoac y formar el río Churubusco.

Cuadro 20
DOTACIÓN DE AGUA POTABLE EN VIVIENDA, DELEGACIÓN
MAGDALENA CONTRERAS–DISTRITO FEDERAL, 2000

Concepto	Distrito federal		Magdalena Contreras	
	Viviendas	%	Viviendas	%
Disponen de Agua Potable en el ámbito de la vivienda	2,038,157	96.88%	48,245	93.81%
Servicio en la vivienda	1,638,359	77.88%	34,459	67.01%
Servicio en terreno	399,798	19.00%	13,786	26.81%
Disponen de Agua Potable por Acarreo	22,196	1.05%	943	1.83%
Servicio por acarreo de hidrante	14,757	0.70%	575	1.12%
Servicio por acarreo de otra vivienda	7,439	0.35%	368	0.72%
No disponen de agua entubada (usan pipa, manantial, pozo)	28,034	1.33%	2,060	4.01
No especificado	15,365	0.73%	179	0.35
TOTAL	2,103,752	100.00	51,427	100.00

Fuente: Programa delegacional de desarrollo urbano. Subdirección de Operación Hidráulica, delegación La Magdalena Contreras.⁶

En lo referente a las características del servicio al interior de la delegación, se analizaron los AGEB. En los sectores San Jerónimo y La Magdalena el porcentaje de viviendas con servicio de agua potable al interior es mayor al referido por la delegación, en tanto que las colonias que conforman a los sectores San Bernabé, Huayatlá y Gavillero concentran a un mayor porcentaje de viviendas con el servicio en el predio.

Destaca que los sectores con mayor crecimiento poblacional durante el quinquenio 1995-2000 registran niveles de servicio inferiores a la media delegacional (la mancha urbana se encuentra en áreas cada vez más altas, por lo que la infraestructura instalada es incapaz de proporcionar el servicio).



Se estima que de acuerdo con el incremento de 10,404 habitantes en la delegación Magdalena Contreras, los requerimientos en agua potable a corto plazo (2000-2005) se incrementarían en 18.47 l/s, por lo que el desalojo de aguas residuales se incrementaría en 14.78 l/s; a mediano plazo (2005-210) el incremento será de 10,891 habitantes a la población estimada en el 2005, por lo que el servicio de agua potable se incrementaría en 19.35 l/s, y el desalojo de aguas residuales en 15.48 l/s.

En lo que respecta a los requerimientos de servicios a largo plazo (2010 - 2015), de mantenerse de forma regular el comportamiento descrito entre el año 2000 - 2010, la demanda esperada para el quinquenio se establecería en 20.3 l/s de agua potable y 16.2 l/s en el incremento de aguas residuales y 5,842 kva.⁶

En este contexto, la aplicación de políticas destinadas a administrar la demanda y los programas de uso eficiente y aprovechamiento del agua representan formas alternas de satisfacer las necesidades de suministro, equivalentes a nuevas fuentes de suministro de considerable importancia.

El reúso y la recarga artificial, utilizando agua residual tratada, son opciones que amplían la oferta a la demanda de suministro del agua.

La posibilidad de ampliar el aprovechamiento del agua del río Magdalena tiene sus limitantes.

Sin embargo la reutilización del agua superficial contaminada por descargas de aguas residuales constituye una fuente potencial, debido a que los volúmenes considerados del agua contaminada son muy altos.

El aprovechamiento de las aguas residuales tratadas en la delegación Magdalena Contreras está enfocado a la reutilización en el riego de jardines áreas verdes y camellones.



4.3 Inventario de Descargas Residuales

Las descargas inventariadas han sido localizadas a través de 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. Con el trabajo de campo realizado se cuenta con los datos primarios para estimar el volumen de agua residual aportada al río por las descargas inventariadas.

4.3.1 Definición de Agua Residual

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

4.3.2 Características del Agua Residual

México cuenta con un sistema de drenaje en el cual se encuentra agua residual municipal compuesta de agua residual doméstica, descargas industriales y comerciales, así como agua de lluvia. Básicamente es el agua producto del uso en diferentes actividades como el aseo corporal, los servicios sanitarios, preparación de comidas, lavado, actividades recreativas, educativas, comerciales e industriales. Contiene principalmente materia orgánica, microorganismos patógenos y nutrientes. Pero, además puede contener compuestos tóxicos. Entre éstos se encuentran los metales y compuestos orgánicos que fundamentalmente provienen de las descargas industriales. La cantidad y el carácter de éstas descargas son variados y dependen del tipo de industria que las genera, el manejo y grado de tratamiento que se le da previo a su descarga.

Si se permite la acumulación de agua residual, la descomposición de la materia orgánica que contiene puede conducir a la generación de numerosos microorganismos patógenos,

causantes de enfermedades principalmente de tipo gastrointestinal. La presencia excesiva de nutrientes (nitrógeno y fósforo) estimula el crecimiento de plantas acuáticas nocivas. Es por todo ello que la evacuación inmediata del agua residual de sus fuentes de generación, seguida de su tratamiento y eliminación, es deseable y necesaria en toda sociedad industrializada.¹⁸ En el cuadro 21, se presentan las principales sustancias que están presentes de acuerdo a su origen.

Cuadro 21

PRINCIPALES COMPONENTES PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DE ACUERDO A SU PROCEDENCIA

Procedencia	Componente
Residuos agrícolas	Nitrógeno, pesticidas
Vertidos industriales	Fenoles, metales pesados
Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales, erosión del suelo	Proteínas, carbohidratos, fósforo, azufre Agentes tenso activos, compuestos orgánicos volátiles, sólidos disueltos o suspendidos
Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento	Virus, bacterias, plantas

Fuente: Metcalf & Hedí, *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*, Tercera Edición, Volumen I, McGraw-Hill pp. 53-55, 145-46. México, 1996.

Entre los contaminantes más importantes de interés para el tratamiento de aguas residuales se encuentran los sólidos suspendidos totales, la materia orgánica biodegradable, los microorganismos patógenos, detergentes, plaguicidas, metales pesados y sólidos disueltos totales. El cuadro 22 presenta el motivo de su importancia.

Cuadro 22

**IMPORTANCIA DE PRINCIPALES CONTAMINANTES
PRESENTES EN AGUA RESIDUAL**

Contaminante	Importancia
Sólidos Suspendidos	Desarrollo de depósitos de lodos y condiciones anaerobias
Materia orgánica biodegradable	Si es descargada sin tratamiento, su estabilización biológica implica el consumo de oxígeno natural y el desarrollo de condiciones sépticas. Se mide en términos de DBO ₅ y DQO.
Microorganismo patógenos	Transmisión de enfermedades
Detergentes y plaguicidas	No son removidos con los sistemas convencionales de tratamiento para aguas residuales
Metales pesados	Deben ser removidos si el agua se va a reutilizar

Fuente: Metcalf & Hedí, *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*, Tercera Edición, Volumen I, McGraw-Hill pp. 53-55, 145-46. México, 1996.

Tradicionalmente, los caudales de aguas residuales se estiman en función de los caudales de abastecimiento de agua. El consumo per capita 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 o m³/s y se puede calcular de la siguiente manera:

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

Cuanto mas alta sea la cantidad de materia orgánica contenida en un agua residual mayor será su concentración. El termino materia orgánica se utiliza como un indicativos de todas las sustancias



presentes en un agua residual. Para cuantificar la masa de materia orgánica se utilizan las mediciones de DBO_5 y DQO expresados en mg/L o g/m^3 .

La concentración del agua residual de una población depende del consumo de agua. En países donde el consumo es elevado, el valor de DBO_5 se ve disminuido (DBO_5 200 a 250 mg) mientras que en países en desarrollo el agua residual contiene valores más concentrados de DBO_5 (400 a 700 mg/L) debido a que el suministro y consumo de agua es menor.



4.3.3 Agua Residual en el Río Magdalena

La principal problemática del río Magdalena en lo que respecta al deterioro de la calidad del agua a lo largo del río, es que se va deteriorando conforme se dirige a la cuenca baja. A su paso se va convirtiendo en un cuerpo receptor de descargas de aguas residuales provenientes ya sea, del drenaje domestico o municipal. La cantidad y calidad de agua residual vertida en el río esta relacionada directamente con los asentamientos humanos existentes, con la distribución de agua potable y con el uso de suelo en las diferentes regiones del río.

El servicio de drenaje en la delegación Magdalena Contreras es de tipo combinado, por lo que concentra y encauza tanto aguas residuales como pluviales a través de una red primaria de 24 km y una secundaria de 238 km integrada por 8,000 pozos de visita, y 600 coladeras pluviales.

La red de drenaje en la cuenca alta es prácticamente inexistente, lo cual ha sido verificado en campo. Las comunidades asentadas a lo largo del río en ésta zona cuentan con fosa séptica.

La red de drenaje de la cuenca media del río Magdalena (CMRM) es de tipo combinado, concentra y encauza tanto aguas residuales como pluviales. Es posible que la cuenca media esté cubierta en un 100 % por la red de drenaje. Sin embargo, existen descargas directas a las barrancas y a los cauces del río Magdalena.

Se sabe que los colectores marginales en las barrancas no operan de manera eficiente. En los últimos 400 metros de su trayectoria recibe las descargas de varios colectores, acentuando la función de drenaje que ya tenía desde su contacto con los asentamientos irregulares dentro de suelo de conservación y la posterior descarga del río Eslava en suelo urbanizado.

La cuenca media emite aproximadamente 44,064 m³/día de aguas residuales (cuadro 23). Se estima que para el periodo 2005 - 2010 la emisión de aguas residuales crecerá entre una tasa promedio anual de 139, 000 m³, solo por el crecimiento de la población.



El saneamiento del agua residual no existe en la cuenca media del río Magdalena. La materia prima para un programa de saneamiento y reuso en la cuenca media son aguas residuales municipales con un volumen aproximado de 2.11 m³/s, como flujo permanente mas el incremento de los escurrimientos pluviales.⁶

En lo que respecta al drenaje marginal de las barrancas Texcalatlaco y Huelcatitla/Carbonero - Oxaixtla, es importante destacar que dada la presencia de lluvias extraordinarias fue fracturado y destruido por lo que ha dejado de contar con la función destinada, generando contaminación y deterioro ambiental; problemática que se incrementa por el vertido de aguas servidas por parte de las colonias.

Cuadro 23

ESTIMACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PERMANENTES PARA LA CUENCA MEDIA DEL RÍO MAGDALENA

Emisor	Metros cúbicos por día (m ³ /día)	Metros cúbicos Por segundo (m ³ /s)
Aguas residuales de la CMRM	44,064	0.510
Aportación del Eslava y el Magdalena	155,520	1.800
Menos aprovechamiento (potabilización)	-17,280	-0.200
Flujo permanente de aguas residuales que salen de la CMRM	182,304	2.110

Fuente: Elaboración propia PUEC- UNAM, 2007.

4.3.4 Descargas Localizadas en el Río Magdalena

El uso urbano (potabilización y recreación), agrícola, industrial y pecuario produce un aumento de la demanda en los volúmenes de aprovechamiento de agua.

Actualmente el río Magdalena se encuentra en peligro debido a los problemas que presenta. En la zona de conservación los principales problemas son: erosión del suelo, deforestación y pérdida

de la cubierta vegetal, tala clandestina, actividades agropecuarias no controladas, asentamientos irregulares y turismo depredador no regulado. Mientras que el fenómeno de urbanización ocasiona que a lo largo de su trayecto por las delegaciones Magdalena Contreras, Tlalpan y Coyoacán el río sea usado como depósito de las múltiples descargas que recibe, lo cual termina por contaminar el río completamente.

De acuerdo a los recorridos de campo, realizados desde el nacimiento del río hasta la avenida Churubusco y Coyoacán, se han contabilizado un total de 60 tuberías de descargas directas al río (cuadro 24).

Cuadro 24

INVENTARIO DE DESCARGAS DEL RÍO MAGDALENA

No.	Ubicación	Tipo de descarga	Tipo de tubo	Gasto ²	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				

Fuente: Instituto de Ingeniería, Coordinación de Ingeniería ambiental 2008. Realizado mediante los recorridos en campo realizados desde el nacimiento del río hasta avenida Churubusco esquina con avenida Coyoacán.

Estas descargas presentan características diferentes en cuanto a origen, material y gasto presentado. De las 60 descargas contabilizadas, 10 presentan gasto constante. 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 (anexo fotográfico fotos 1 a 11).

Cada una de las 10 descargas con gasto constante ha sido monitoreada y se ha determinado la calidad del agua en base a los parámetros de: DBO₅, DQO, COT, T y pH. Con el valor obtenido de DBO₅ se estima el aporte de la carga orgánica que recibe el río por parte de estas descargas (cuadro 25).

Cuadro 25

ESTIMACIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA MEDIDA COMO DBO₅ APORTADA AL RÍO MAGDALENA POR DESCARGAS RESIDUALES.

Número de foto ¹	Ubicación	N ²	W ²	DBO ₅ (mg/L)	pH	CF (UFC/100ml)	Gasto m ³ /s	Estimación kg/día
1	CARM	19°17'.36	99°15'.858	2,0	7.76	Ausente	0,0005	0,104
2	CARM	19°17',36	99°15',87"	1,3	7.56	Ausente	0,0006	0,123
3	CMRM	19°18'.03	99°18'.890	34	7.54	19.5*10 ⁶	0,000002	0,005
4	CMRM	19°18'0.9	99°14'53.4	385	7.26	34*10 ⁵	0,0002	5,721
5	CMRM	19°18'.22	99°14'.242	129	8	22*10 ⁶	0,0004	4,425
6	CMRM	19°18'.70	99°13'.553	192	7.36	19*10 ⁶	0,1280	2121,708
7	CMRM	19°18'.70	99°13'.548	214	7.18	98*10 ⁵	0,2133	3943,488
8	CMRM	19°18'.89	99°13'.277	164	7.82	13.3*10 ⁶	0,0006	11,052
9	CMRM	19°18'.89	99°13'.263	170	8.12	15.9*10 ⁶	0.0029	51,408
10	CMRM	19°18.894	99°13.271	385	8.3	17.1*10 ⁶	0.0267	109,771

Fuente: Instituto de Ingeniería, Coordinación de Ingeniería ambiental 2008. Obtenida mediante los recorridos en campo realizados desde el nacimiento del río Magdalena hasta avenida Churubusco esquina con avenida Coyoacán. La aportación del río Eslava, que se considera como fuente de alta contaminación se encuentra ubicada en las coordenadas N 19°18.208" y W 99°14'.242" con un valor de DBO₅ de 532 mg/L, pH 7.47, CF 13*10⁶, un gasto de 0,6716 m³/s y una estimación de 31046,160 kg/día.

CARM.- Cuenca Alta Río Magdalena.

CMRM.- Cuenca Media Río Magdalena.

¹ Ver anexo fotográfico y mapa 2.

² Ubicación geográfica de las descargas en coordenadas GPS.



4.4 Plantas de Tratamiento

El tratamiento de aguas residuales es un proceso que involucra la descomposición de los sólidos y sustancias de estructura compleja e inestable para obtener compuestos más simples y estables. Los tratamientos utilizados son elegidos acorde a la calidad y uso deseado del efluente. Los objetivos de tratamiento para un proyecto específico deben ajustarse a las normativas estatales y federales. Los niveles de tratamiento necesarios pueden determinarse comparando las características del agua residual cruda con las exigencias del efluente correspondiente. Los procesos y operaciones unitarias se combinan y complementan para dar lugar a diversos niveles de tratamiento de las aguas.

No se detectó la presencia de plantas de tratamiento de gran capacidad. En la zona que va de la nueva planta potabilizadora hasta antes del río Eslava se identificó una planta de tratamiento de aguas residuales operada por concesión privada, la cual trata aguas residuales generadas por San Nicolás Totolapan y que genera agua para el riego de jardines en la zona y de las áreas verdes del deportivo. Una segunda planta se ubica en la Casa Popular / San Jerónimo. No se contó con información referente a los sistemas de tratamiento con los que operan las plantas.

Finalmente, cabe destacar que se solicitó varias veces el acceso a la planta de tratamiento del Hotel Camino Real / Hospital Los Ángeles, dado que se tenía conocimiento de la existencia de una planta para ambas instituciones. Se giraron oficios incluso con el apoyo de la coordinación del proyecto a cargo de la SMA-GDF sin obtener una respuesta favorable para reconocer visualmente la ubicación y las características generales de la planta.



Bibliografía

American Public Health Association, American Water Work Association, Water Environmental Federation. 2005. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 21 Ed. Port City Press. Washington, DC: 9_56 – 9_76.

Bojorge, M. G., Indicadores Biológicos de la calidad del agua en el Río Magdalena, México, D. F. Tesis de Maestría, UNAM, Facultad de Ciencias, 2006

C. G. Cude, 'Oregon water quality index: a tool for evaluating water quality management effectiveness', Journal of the American Water Resources Association. Vol.37, No.1. 2001 pp. 125-137.

C. Jáuregui-Medina, S. Ramírez-Hernández, 'Impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del río Mololoa (Nayarit, México) y propuestas de solución' Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, Vol. 1 serie 3, 2007, pp. 65-73.

Campbell R. 1987. Ecología Microbiana. Ed. Limusa. 2ª Ed. México D. F: 268p.

Comisión Nacional del Agua, Estados Unidos Mexicanos,
<http://www.cna.gob.mx/conagua/Default.aspx>

D. Barkin, La gestión del agua urbana en México, Universidad de Guadalajara México 2006.

Decreto que contiene el programa delegacional de desarrollo urbano para la delegación la Magdalena Contreras del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal. México, 28 de enero del 2005.

Delegación la Magdalena Contreras, <http://www.mcontreras.df.gob.mx/>



Diario Oficial de la Federación.1998. Modificado a la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997. Que establece los límites máximos permisibles contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. DOF. México, D.F. pp. 17-24

F. Kaurish, Y. Younos, 'Developing a standardized water quality index for evaluating surface water quality', Journal of the American Water Resources Association Vol. 43, No.2, 2007, pp. 533-545.

Geldreich, E., B.A. Kenner. 1969. Comments on fecal streptococci in stream pollution. Journal Water Pollution Control Federal 41: R336-R341.

Guía De Prácticas Hidrológicas, 5ta edición, Organización Meteorológica Mundial, 1994, pp. 147-173, 227-252

Guía para el monitoreo y seguimiento del agua. 2004. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. IDEAM. Colombia.

H. Hernández, C. Tovilla, 'Water quality and presence of pesticides in a tropical coastal wetland in southern México, Marine Pollution Bulletin Vol. 48, 2004 pp.1130-1141.

HACH.1999. Digesdahl digestion apparatus. Instrument Manual. 8a ed. HACH Co. California, EU.

HACH. 2002. Water Analysis Handbook. 4a ed. HACH Co. California, EU. 1260 p.

I. Herrera Revilla, C. T. Dumars, El agua y la ciudad de México, México 1995.

J. Bartram, R. Balance, Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes, UNEP/WHO. 1996, pp. 609.

Jiménez, B. 2006. Irrigation in developing countries using wastewater. International Review for Environmental Strategies 6(2): 229-250.



Jujnovsky, J. Servicios ecosistémicos relacionados con el recurso agua en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. Tesis de maestría, UNAM, Facultad de Ciencias, 2006.

Krammer, K., H. Lange-Bertalot. 1986. Bacillariophyceae. Teil 1: Naviculaceae. Band 2/1. In: A. Pascher; H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer (eds.) Die Süßwasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart: 876 p.

Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. 1988. Bacillariophyceae. Teil 2: Bacillariaceae, Ephitemiaceae, Surirellaceae. Band 2/2. In: A. Pascher, H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer (eds.) Die Süßwasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart: 596 p.

L. F. León, 'Índices de la calidad del agua (ICA), forma de estimarlos y su aplicación en la cuenca Lerma Chapala', Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México, 1991, pp. 36.

Lange-Bertalot, H. 1997. Frankophila, Mayamaea und Fistulifera: drei neue Gattungen der Klasse Bacillariophyceae. Archiv für Protistenkunde 148: 65-76.

Lange-Bertalot, H. y K. Bonik. 1976. Massenentwicklung bisher seltener und unbekannter Diatomeen als Indikator starker Abwasserbelastung in Flüssen. Arch. Hydrobiol. Suppl. 49 (Algol. Stud. 16): 303-332.

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

Manual de Análisis de Agua, Segunda edición. Hach Company, USA. pp. 152-156.

Metcalf and Eddy, Inc. 1991. Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, and Reuse. McGraw-Hill, Inc., New York, 3rd ed. pp. 107-110.



Metcalf & Hedí, Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización, Tercera Edición, Volumen I, McGraw-Hill pp. 53-55, 145-46. México, 1996.

Millipore, 2000. Análisis Microbiológico. Millipore. España 4-18.

Monges, Y. (en proceso). Calidad del agua como elemento integrador para la rehabilitación del río Magdalena, D.F. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Instituto de Ecología. UNAM. México, D.F.

Murray, P., Baron, E., Pfaller, M., Tenover, F., Tenover, R. (Ed.), 1995. Manual of Clinical Microbiology. American Society for Microbiology Press. Washington. D.C: 450-456.

M. Mazari, 'Informe Técnico Grupo Calidad Agua. Facultad de Ciencias-Instituto de Ecología, UNAM, Plan maestro integral y aprovechamiento sustentable de la cuenca del río Magdalena, D. F.

National Handbook of Water Quality Monitoring Natural Resources Conservation, United States Department of Agriculture, Part 600. 1996, pp. 450.

NMX-AA-003-1980. Aguas residuales. Muestreo.

NMX-AA-007-SCFI-2000. Determinación de la temperatura en aguas naturales y residuales.

NMX-AA-008- Determinación del pH.

NMX-AA-028-SCFI-2001. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

NMX-AA-030-SCFI-2001. Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

NMX-AA-034-SCFI-2001. Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.



NMX-AA-036. Determinación de la acidez total y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

NMX-AA-039-SCFI-2001. Determinación de sustancias activas a al azul de metileno (SAAM) en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.

NMX-AA-073-2001. Determinación de cloruros Totales en aguas naturales, residuales y Residuales tratadas.

NMX-AA-079-SCFI-2001. Determinación de nitratos en aguas naturales , potables ,residuales y residuales tratadas

NMX-AA-102-SCFI-2006. Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y Escherichia coli presuntiva – método de filtración en membrana.

NOM-001-ECOL-1996. Limite máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales.

NOM-002-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado.

NOM-003-ECOL-1997. Limites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al publico.

NOM-014-SSA1-1993. Procedimientos sanitarios para el muestro de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.

Palmer, M. C., Algas en abastecimiento de agua, Interamericana, S. A, 1955, pp. 1-91.

R. Brown, L. McClelland, 1970. 'A water quality index-do we dare?' Water Sewage Works Vol. 11, 1970 pp. 339-343.



Santiago: DGA, 2004, Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas; realizado por Cade-Idepe Consultores en Ingeniería, Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2007, <http://sad.dga.cl/ipac-cgi/ipac.exe>

Sistema de Aguas de la Ciudad de México, Historial de Calidad del agua año 2007.

S. H. Dinius, 'Design of an index of water quality', Water Resources Bulletin Vol. 23, No.5, 1987 pp 833-842.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. USA, 1995.

Toranzos, G., McFeters, J. y Savill M. 2007. Detection of microorganisms in environmental freshwater and drinking waters. En: Manual of Environmental Microbiology. 3a ed. American Society of Microbiology Press: 249-254.

UNESCO, El control de la eutrofización en lagos y ríos, Pirámide, S. A. Madrid, España 91, 1992 pp.113 y 268.

Water Quality Assessments -A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring, Second Edition World Health Organization, 1996, pp. 651.

World Health Organization (WHO), Guidelines for drinking-water quality, 2006.