

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**



**DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD DEL
AGUA EN EL ARROYO “DEL PUEBLO” DE SALTILLO,
COAHUILA**

Por:

JOSÉ ALFREDO HERRERA MÁRQUEZ

TESIS

**Presentada como requisito parcial para obtener el título
de: Ing. Agrícola y Ambiental**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Abril de 2002

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE SUELOS

**DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD DEL
AGUA EN EL ARROYO “DEL PUEBLO” DE SALTILLO,
COAHUILA**

**Por:
JOSÉ ALFREDO HERRERA MÁRQUEZ**

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

Ing. Agrícola y Ambiental

Presidente del Jurado

Dr. Edmundo Peña Cervantes

Sinodal

M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala

Sinodal

M.C. Javier S. Silvéyra Medina

Sinodal

M.C. Idalia Hernández Torres

MC. Luis Edmundo Ramírez Ramos
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco muy sinceramente al Dr. Edmundo Peña Cervantes por el gran interés y por el enorme apoyo que me prestó, así como también por su colaboración en la elaboración, dirección y revisión del presente trabajo.

Al M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala, por su incondicional confianza y sus oportunas observaciones para la realización de la tesis.

Al M.C. Javier Silveyra Medina, por su valiosa participación en la revisión de este documento y por el tiempo que invirtió en éste.

Al la M.C. Idalia Hernández Torres por sus acertadas sugerencias en la escritura, presentación y finalización del trabajo.

Agradezco al jefe del Departamento de Suelos, Dr. Arturo Gallegos del Tejo por todo el apoyo dado a lo largo de este tiempo, en la realización y finalización del presente estudio.

Agradezco también a las laboratoristas de Servicios Generales y Pedología, por su colaboración; y a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron en la realización de éste trabajo. A todos gracias.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia que con su apoyo todo fue posible.

A mis padres:

Sr. Ildfonso Herrera Oyervides

Sra. Manuela Márquez de Herrera

Con cariño y respeto, por ser mi mayor sustento en todos los aspectos.

A mis hermanos:

Alfonso Antelmo y Mario Enrique Herrera Márquez

A mis demás familiares:

Tíos (as), primos (as), etc.

A mi novia Nancy Valdez Proa, con mucho amor.

A mi mejor amiga Mayra Xochilt Francisco Illescas, con cariño.

Y a todos mis compañeros.

INDICE DE CONTENIDO

		Página
Índice de Cuadros		VIII
Índice de Figuras		IX
1	INTRODUCCIÓN	1
	1.1 HIPÓTESIS	3
	1.2 OBJETIVOS	3
2	REVISIÓN DE LITERATURA	4
	2.1 EL AGUA	4
	2.1.1 CICLO HIDROLÓGICO	5
	2.1.2 LA ESCASEZ DEL AGUA	5
	2.1.3 USOS DEL AGUA MUNICIPAL	7
	2.1.4 CONTAMINACIÓN DEL AGUA	8
	2.1.5 FUENTES DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA	9
	2.1.5.1 Fuentes Puntuales	9
	2.1.5.2 Fuentes no Puntuales	9
	2.2 LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS	10
	2.2.1 ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES	11
	2.2.2 COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	11
	2.2.3 PROPIEDADES DE LAS AGUAS RESIDUALES	13
	2.2.4 PROPIEDADES FÍSICAS	13
	2.2.3.1 Sólidos	13
	2.2.3.2 Color	14
	2.2.3.3 Temperatura	14
	2.2.3.4 Olor	14
	2.2.3.5 Residuos y Sólidos Antiestéticos	15
	2.2.4 PROPIEDADES QUÍMICAS	15
	2.2.4.1 pH	15
	2.2.4.2 Conductividad Eléctrica	16
	2.2.4.3 Cloruros	16
	2.2.4.4 Demanda Química de Oxígeno	17
	2.2.4.5 Nitratos	18
	2.2.4.6 Fósforo	19
	2.2.4.6.2 Efectos Ecológicos	21
	2.2.4.7 Metales Pesados	21
	2.2.4.7.1 Toxicidad	22
	2.2.4.7.2 Condiciones de Toxicidad .	22
	2.2.4.7.3 Contaminación del Agua	23
	con Metales Pesados	23
	2.2.5 PROPIEDADES BIOLÓGICAS	27
	2.3 CONTAMINACIÓN DE CAUSES	31

	2.4	PROBLEMÁTICA DE LAS AGUAS RESIDUALES	32
	2.5	SITUACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS	33
3		MATERIALES Y METODOS	35
	3.1	EL ARROYO DEL PUEBLO	35
	3.2	MUESTREO	39
	3.2.1	RECIPIENTES PARA LAS MUESTRAS	39
	3.2.2	SELECCIÓN DEL SITIO DE MUESTREO	39
	3.2.3	SISTEMA DE MUESTREO	40
	3.2.4	RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS	41
	3.2.4	CONSIDERACIONES DEL MUESTREO	41
	3.2.5	PUNTOS DE MUESTREO	41
	3.3	METODOS EMPLEADOS	42
	3.3.1	TEMPERATURA	42
	3.3.2	pH	42
	3.3.3	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	42
	3.3.4	SÓLIDOS TOTALES	43
	3.3.5	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	43
	3.3.6	CARBONATOS Y BICARBONATOS	43
	3.3.7	CLORUROS	43
	3.3.8	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	44
	3.3.9	FÓSFORO	44
	3.3.10	NITRATOS	44
	3.3.11	METALES	44
4		RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
	4.1	PARÁMETROS EVALUADOS	47
	4.1.1	TEMPERATURA	47
	4.1.2	pH	49
	4.1.3	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	50
	4.1.4	SÓLIDOS TOTALES	51
	4.1.5	SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	53
	4.1.6	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	54
	4.1.7	CARBONATOS	55
	4.1.8	BICARBONATOS	56
	4.1.9	MAGNESIO	57
	4.1.10	POTASIO	58
	4.1.11	CALCIO	59
	4.1.12	SODIO	60
	4.1.13	CLORUROS	61
	4.1.14	FÓSFORO	62
	4.1.15	NITRATOS	64
	4.1.16	PLOMO	64
	4.1.17	COBRE	65
	4.1.18	ZINC	65
	4.1.19	FIERRO	66
	4.2	VARIACIÓN ENTRE MUESTREOS	68

5	CONCLUSIONES	73
6	LITERATURA CITADA	75
7	APENDICE	79

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
2.1	Composición típica de agua residual doméstica	12
2.2	Composición típica de aguas residuales domésticas no tratadas	12
2.3	Características de las aguas residuales de varias comunidades de California	12
2.4	Nutrientes, oligoelementos y agentes contaminantes de las aguas residuales de México, D.F	13
2.5	Sintomatología de intoxicaciones por metales pesados, fuentes de intoxicación y algunas observaciones	24
2.6	Otros eventos de vertidos a corrientes de agua	28
2.7	Enfermedades causadas por microorganismos, síntomas y algunas observaciones	29
3.1	Algunas especies que son encontradas en el arroyo del Pueblo	39
4.1	Cuadro de concentrado mostrando el valor mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de cada parámetro determinado durante los periodos de muestreo, tomando en cuenta los puntos 1 al 25	69
4.2	Se muestra la diferencia de los parámetros entre muestreos mediante una prueba de heterogeneidad de varianza	71
A.1	Plomo contenido en aguas continentales	79
A.2	Plantas de tratamiento de aguas residuales industrial y municipal en México: número de plantas y capacidad de tratamiento diseñada, 1991-1998	79
A.3	Resultados del primer muestreo, de Invierno	0
A.4	Resultados del segundo muestreo, de Primavera	81
A.5	Resultados del tercer muestreo, de Verano	82
A.6	Comportamiento de los metales en los diferentes puntos de muestreo durante los periodos de muestreo. Determinación por espectrofotometría de absorción atómica (absorción directa)	83

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Representación tridimensional de la molécula del agua	4
2.2	Representación típica del ciclo del agua	5
3.1	Ubicación del municipio de Saltillo en el Estado de Coahuila, y del arroyo del Pueblo en el municipio de Saltillo	36
3.2	Punto de muestreo 13. Se logra observar lo profundidad que pueden alcanzar los suelos de igual forma se ve la vegetación que prevalece	37
3.3	Punto de muestreo 26. Se observa la descarga procedente de una industria	38
3.4	Punto de muestreo 22. Se demuestra uno de los fines que se hacen sin la mínima conciencia	38
3.5	Punto de muestreo 25. Se observa el caudal que puede llegar alcanzar y la gran cantidad de espuma que se genera	38
3.6	Localización de algunos puntos de muestreo en el arroyo del Pueblo	45
4.1	Variación de la Temperatura en los diferentes puntos de muestreo durante las estaciones de muestreo	48
4.2	Variación del pH en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo	49
4.3	Variación de la Conductividad Eléctrica en los diferentes puntos de muestreo y en las tres estaciones de muestreo ...	51
4.4	Variación de Sólidos Totales en los diferentes puntos de muestreo durante las estaciones de muestreo	52
4.5	Variación de Sólidos Totales Disueltos en los diferentes puntos de muestreo y en las tres estaciones de muestreo	53
4.6	Variación de la Demanda Química de Oxígeno en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo	54
4.7	Variación de los Carbonatos en los diferentes puntos de muestreo durante las estaciones de muestreo	55
4.8	Variación de los Bicarbonatos en los diferentes puntos de muestreo a lo largo de las tres estaciones de muestreo	56
4.9	Variación del Magnesio en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo	58
4.10	Variación del Potasio en los diferentes puntos de muestreo y en los periodos de muestreo	58
4.11	Variación del Calcio en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo	59

4.12	Variación del Sodio en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo	60
4.13	Variación de Cloruros en los diferentes puntos de muestreo y en las tres épocas de muestreo	61
4.14	Variación de Fósforo en los diferentes puntos de muestreo y en los tres periodos de muestreo	63
4.15	Variación de Nitratos en los diferentes puntos de muestreo durante las tres estaciones de muestreo	64
4.16	Variación del Zinc en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo	66
4.17	Variación del Hierro en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo	67

1 INTRODUCCION

Las nuevas tendencias medioambientales han nacido a raíz de la preocupación por la degradación de los recursos naturales y han obligado a las diferentes instancias (países, empresas, instituciones, etc.) a unir esfuerzos para preservar y rehabilitar recursos y áreas naturales.

Estas políticas van encaminadas a un desarrollo sustentable y tienen como objetivo ver al proceso o fenómeno como un sistema tomando en cuenta un gran número de factores, entre ellos el medio ambiente.

Enmarcado en el medio ambiente se encuentra el recurso agua, su calidad y su cantidad. La importancia de la calidad del agua reside en la importancia misma que tiene en la existencia y actividades del hombre.

Como resultado de tales actividades el agua sufre cambios que la convierten en un agua residual y no puede ser nuevamente empleada en el mismo proceso y su uso es restringido para otras tareas.

Las aguas residuales urbanas presentan tipos de contaminantes muy diversos con caudales que varían no solamente en el transcurso del año sino que también en el lapso de un día. Tales características hacen del agua residual un problema de grandes dimensiones que afecta a toda la población, directa o indirectamente.

Las repercusiones del mal manejo del agua residual (control, tratamiento y eliminación) trae como consecuencia posibles focos de infección, aspecto

desagradable del paisaje ya sea en los puntos de descarga o deposición de las aguas negras, desequilibrio de ecosistemas, etc.

Un problema muy común es la descarga de aguas residuales crudas a embalses y causes naturales. Estas aguas provienen de hogares, de industrias o de instalaciones públicas y privadas, etc.

Tal es el caso del arroyo del Pueblo de la ciudad de Saltillo, Coahuila donde se vierten las aguas negras de las diferentes colonias que se encuentran en los alrededores. Este cause ha sido degradado en los últimos años por las descargas de aguas residuales crudas de diferentes procedencias y además, ha sido utilizado como basurero.

El arroyo del Pueblo es un claro ejemplo de la falta de conciencia por parte de los ciudadanos y de descuido por parte de las autoridades.

La importancia del conocimiento de la calidad del agua de este cause deriva del sin número de actividades que dependen de forma directa o indirecta del abastecimiento de esta fuente de agua.

Además del aspecto deplorable que se visualiza a lo largo del arroyo del Pueblo, desde el punto de vista sanitario, el cause es un foco de diferentes tipos de infecciones que impactan a los sectores más marginados de la sociedad.

Por lo anterior, este trabajo contempla la determinación de algunos parámetros que ayudarán a conocer la calidad del agua de esta cause, describir la variabilidad en la concentración de algunos agentes contaminantes y detectar posiblemente aquellos presentes en cantidades tóxicas. Aunado a esto las áreas (puntos de muestreo) donde existe mayor contaminación.

HIPÓTESIS

- La concentración de contaminantes varía a lo largo del cause y en la época del año;
- y ciertos contaminantes pueden estar presentes en concentraciones toxicas.

OBJETIVOS

- Determinar algunos parámetros de la calidad del agua en el arroyo del Pueblo.
- Conocer la variabilidad de la contaminación del agua en diferentes puntos de muestreo y en distintas estaciones de año.
- Comparar algunos resultados con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

REVISIÓN DE LITERATURA

EL AGUA

El agua (H_2O , ver Figura 2.1) es la sustancia más importante y versátil que se encuentra en la naturaleza, y como tal condiciona la vida. Los seres vivos están constituidos en gran parte por agua (65 por ciento del peso del ser humano).

El agua aparece en la naturaleza en sus tres estados sólido, líquido y gaseoso, cumpliendo en cada uno de ellos su función dentro del equilibrio de los ciclos bioquímicos.

El agua utilizable por el hombre constituye un porcentaje muy pequeño sobre el total existente en la tierra, pues el 97.4 por ciento pertenece a los océanos (agua salada) y el 2 por ciento corresponde al estado sólido (hielo) de los casquetes polares (que a sus veces contienen el 77.2 por ciento de total de agua dulce existente en el mundo) (Seoánez, 1990).

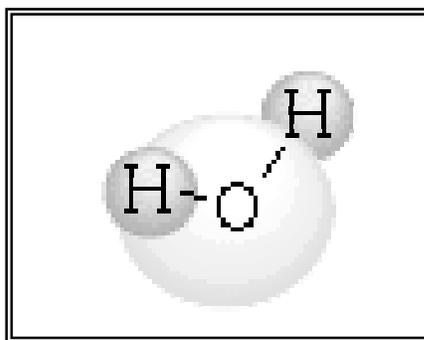


Figura 2.1 Representación tridimensional de la molécula del agua.

CICLO HIDROLÓGICO

Este ciclo consiste fundamentalmente en:

Circulación del agua del océano a través de la atmósfera hacia el continente; su retorno al océano en varias formas después de su detención ocasional: por escurrimiento superficial o subterráneo, y en parte también por la misma atmósfera.

Cortocircuitos que eliminan etapas del ciclo completo, como por ejemplo: el paso del agua del subsuelo y de la superficie terrestre hacia la atmósfera sin pasar por el océano.

Una de las representaciones más comunes del ciclo del agua se muestra en la Figura 2.2

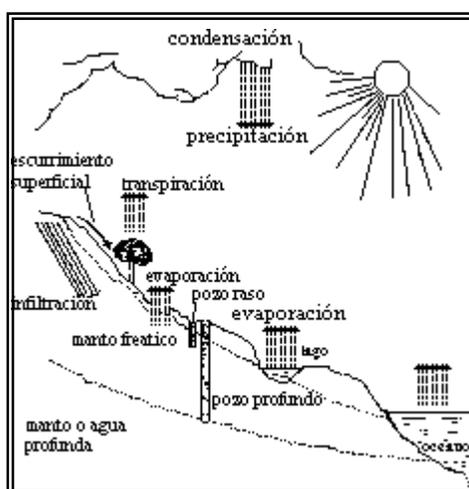


Figura 2.2 Representación típica del ciclo del agua.

LA ESCASEZ DEL AGUA

La irrigación es el principal usuario del agua, la producción de cultivos es la primer área que sufre cuando el suministro del agua es inadecuado. En la batalla por el agua, son las ciudades y no las zonas agrícolas las que

usualmente ganan. La industria es la siguiente. Los suministros de agua para las necesidades domésticas son los últimos en ser reducidos.

Definir los niveles en los cuales la escasez empieza y la abundancia termina es notoriamente difícil. Uno de los pocos científicos que intentó hacer eso fue la hidróloga Sueca Malin Falkenmark. Ha definido lo que llama cinco "intervalos de competición del agua". Países que tienen 10,000 m³ de agua por persona por año o más tienen problemas de agua limitados; aquellos con 1679 – 10,000 m³ tienen problemas generales; aquellos con 1000 – 1670 m³ pueden ser considerados como "estrés de agua"; aquellos con 500 – 1000 m³ sufren de escasez crónica de agua; y aquellos con menos de 500 m³ de agua por persona por año están por encima de lo que Falkenmark llama la "barrera de agua" (Clarke, 1993).

De acuerdo a las estimaciones del Banco Mundial, más de mil millones de habitantes en el mundo no tienen acceso a suministros de agua apta para el consumo y 1,700 habitantes carecen de saneamiento adecuado. Garantizar el suministro a esos mil millones de personas requeriría una inversión cinco veces superior a la que se destina a este fin actualmente, es decir unos 50,000 millones de dólares al año. El abastecimiento de agua urbano cuesta unos 105 dólares por persona y una media de 50 dólares en el medio rural, según la Organización Mundial de la Salud (OMS).

En 1990, 20 países sufrían escasez de agua. En 1996 ya eran 26 (230 millones de personas), según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). El número de países con problemas de agua puede elevarse a 41 en el año 2020. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) calcula que de aquí al año 2027, aproximadamente un tercio de los habitantes del mundo sufrirá escasez de agua seria.

En México, según la Comisión Nacional del Agua, la disponibilidad natural base media (escurrimiento superficial virgen medio + recarga total media de acuíferos) en 1999 fue de 477,625 hm³; la disponibilidad base media per capita (escurrimiento superficial virgen medio + recarga media de acuíferos) / 95.8 millones de habitantes en 1998 fue de 4,986 m³/habitante.

El aumento de la población provocará que para el año 2020 en México aumente la demanda de suministro de agua y por lo tanto de tratamiento hasta en un 25 por ciento más, lo que requerirá de una inversión aproximada de cuatro mil 300 millones de dólares, a lo que habría que sumar los gastos de operación al año calculados en 3 mil 190 millones de dólares.

(www.laneta.apc.org/emis/noticias/toxica99.htm)

En 1994, al menos 220 millones de ciudadanos urbanos se quedaron sin un acceso regular a la distribución de agua potable y casi el 90 por ciento de las aguas residuales de los países desarrollados continúan sin tratar. Además, la mitad del agua potable en los países desarrollados simplemente se pierde, a pesar de los elevados costes que suponen los procesos de potabilización.

USOS DEL AGUA MUNICIPAL

Áreas Residenciales. En los hogares el agua se utiliza en el interior en regaderas y retretes; en el exterior se usa para regar el césped y lavar los carros principalmente.

Distritos Comerciales. El agua para usos sanitarios varía dependiendo del tipo de actividad, ya que no es lo mismo una oficina comparado con un restaurante.

Instalaciones Institucionales. Cantidad de agua que se usa en los hospitales, escuelas, casas de descanso, prisiones, etc. Usualmente se basa en el tamaño de la instalación y el tipo de función . Por ejemplo: estudiantes/cama.

Instalaciones Recreativas. Tales como albercas, boleras, campos, centros turísticos y clubes que realizan gran variedad de funciones que involucran al agua.

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La contaminación del agua probablemente empezó con la fundación de las primeras ciudades, hace 7,000 años, en las orillas de los ríos Tigris, Eufrates y el Indus. Las ciudades utilizaron las aguas de ríos, lagos y mares como vertederos para diluir y dispersar sus residuos.

Todos los desechos de la agricultura, industriales y domésticos afectan en cierta forma la vida normal de un río o lago. Cuando la influencia es suficiente para hacer al agua inaceptable para su mejor uso, se dice que esta contaminada (Hammer, 1986).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que un curso de agua es contaminante cuando la composición y el estado de sus aguas son, directa o indirectamente modificados por la actividad del hombre en tal medida que su uso se ve disminuido respecto a su estado natural (www.cepis.org.pe).

La contaminación del agua es la adición de cualquier sustancia al agua en cantidad suficiente que cause efectos mensurables en los seres humanos, en los animales, en la vegetación o en los materiales y que se presente en cantidades que sobrepasen los niveles normales en los que se encuentra en la naturaleza de manera que resulte inapropiada para usos benéficos (Múgica y Figueroa, 1996).

La contaminación es la adición por el hombre de materiales o energía calorífica en cantidades que causan alteraciones indeseables en el agua (Nebel and Wright, 1999).

Contaminación del agua es cualquier cambio físico o químico en las aguas superficiales o en las subterráneas, capaz de causar daño a los microorganismos o volver al agua inapropiada para determinados usos (Tyler, 1994).

El Gran Diccionario del Medio Ambiente y de la Contaminación (1996), define a la contaminación del agua como la alteración de las aguas debido a la presencia de productos procedentes de la industria y de otras actividades humanas.

Por contaminación del agua se entiende cualquier cambio en las aguas naturales el cual puede perjudicar su futuro uso, causando por la introducción de sustancias orgánicas o inorgánicas, o un cambio en la temperatura del agua (Encyclopedia of Environmental Science, 1980).

Por contaminación del agua se entiende como la introducción de un agente (químico, físico o biológico) no deseado al agua que no se encontraba o si estaba presente sus niveles no eran dañinos (Portilla y Zavala, 1990).

FUENTES DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Fuentes Puntuales

Las fuentes puntuales descargan contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías, acequias o alcantarillas a cuerpos de agua superficial. Los ejemplos incluyen fábricas, plantas de tratamiento de aguas negras (que retiran algunos, pero no todos los contaminantes), minas subterráneas de carbón activas ó abandonadas, minas de oro, pozos de petróleo fuera de costa y buque-tanques petroleros.

Fuentes no Puntuales

Las fuentes no puntuales son grandes áreas de terreno que descargan contaminantes al agua superficial y subterránea sobre una región extensa y partes de la atmósfera donde los contaminantes son depositados en las aguas superficiales. Los ejemplos pueden ser los vertimientos de sustancias químicas en el agua superficial y la infiltración desde tierras de cultivo, lotes de pastura para ganado, bosques talados, tierras urbanas y suburbanas, tanques sépticos, predios de construcción, sitios de estacionamiento, carreteras y la deposición ácida.

LAS AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son consideradas residuos que debido a la utilización que ha recibido el agua anteriormente, contienen un índice de contaminación

suficientemente elevado como para no poder ser vertidas directamente al medio ambiente (ríos, pantanos, mar, etc.) sin un tratamiento previo.

A continuación se dan algunas definiciones de los diferentes tipos de aguas de desecho:

El Diario Oficial de la Federación (1991) citado por Islas (1993) define a las aguas negras municipales como aquellas que resultan de la combinación de aguas de desecho de las casas habitación, de fraccionamientos, de áreas comerciales y de servicios públicos o privados así como industrias, en el caso de que los procesos que se generen se localicen en centros de población y estos se viertan a un sistema de drenaje y alcantarillado operado por la autoridad competente u organismos autorizado para tal fin.

Las aguas residuales municipales son aquellas que resultan de la actividad de los habitantes de un núcleo urbano y que provienen frecuentemente de los baños y cocinas (Múgica y Figueroa, 1996).

Agua residual es el líquido de composición variada proveniente de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada, y que por tal motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original (NOM-001-ECOL-1996).

Las aguas residuales urbanas provienen fundamentalmente de la utilización doméstica, de pequeñas industrias y de la lluvia. Aunque la composición de estas aguas puede ser muy variada según sea su origen, las impurezas que predominan suelen ser arenas, grasas, materia orgánica disuelta, materia inorgánica y microorganismos (Seoáñez, 1990).

Las aguas residuales domésticas resultan del uso del agua en viviendas e incluyen tanto el agua después de usarse y los varios materiales de desecho que se le añaden: heces, arena, residuos de cocina, agentes limpiadores para hogares, detergente y jabones de lavandería, etc. (Encyclopedia of Environmental Science, 1980).

ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Agua Residual Domestica ó Sanitaria. Agua residual procedente de residencias y de instalaciones comerciales, institucionales y similares.

Agua Residual Industrial. Agua residual en la cual predominan residuos industriales.

Infiltración/Escurrimiento. Agua que entra al sistema de alcantarillado a través de formas directas e indirectas. Infiltración, agua que entra al sistema de alcantarillado por fugas, grietas, roturas o poros en las paredes. Escurrimiento, agua que entra al sistema por el drenaje, tejados, drenaje de sótanos y cimientos.

Agua de Lluvia. Escurrimiento resultante de la precipitación y nevadas.

COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

El término se refiere a la cantidad de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua residual. Tanto los constituyentes como las variaciones varían con la hora del día, el día de la semana, el mes del año y otras condiciones locales (Metcalf and Eddy, 1994).

La composición de las aguas residuales urbanas es muy variable, interviniendo en ella factores específicos de la comunidad que las produce como es el propio consumo de agua, las aguas industriales que puedan incluirse en el alcantarillado o el régimen alimentario.

Los Cuadros 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4 exhiben algunas de las composiciones típicas del agua residual dadas por diferentes autores y para diferentes ciudades.

Cuadro 2.1 Composición típica del agua residual doméstica.

Componente	Concentración Media mg/l
Carbonato	2.4
Bicarbonato	45.0
Cloruro	3.5
Nitrato	1.1
Fosfato	0.0
Sodio	0.5
Potasio	0.8
Calcio	10.4
Magnesio	9.8
Manganeso	0.0
Hierro	0.0
Sólidos Disueltos Totales	63.8

Fuente:

www.gooscopio.org/medioambiente/temas/tema9/9tipos.htm#composicion

Cuadro 2.2 Composición típica de aguas residuales domésticas no tratadas.

Constituyente	Concentración mg/l		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos Totales	1200	720	350
Sólidos Disueltos Totales	850	500	250
Demanda Química de Oxígeno	1000	500	250
Nitratos	0	0	0
Fósforo (total como P)	15	8	4
Cloruros	100	50	30

Fuente: Metcaf and Eddy, 1994.

Cuadro 2.3 Características de las aguas residuales de varias comunidades de California.

Características	Contenido Normal	Máximo	Mínimo
Sólidos Disueltos mg/l	100-300	1200	Trazas
Conductividad $K \cdot 10^5$	30-60	240	30
Sodio mg/l	40-70	290	30
Potasio mg/l	7-15	22	--
Magnesio mg/l	15-40	110	--
Calcio mg/l	15-40	250	--
Cloruros mg/l	200-50	230	--

Fuente: Seoáñez, 1990.

Cuadro 2.4 Nutrientes, oligoelementos y agentes contaminantes de las aguas residuales de México, D.F.

Características	Concentración Promedio (mg/l)
pH	7.7
Conductividad	1792
Sólidos Totales	1590
Demanda Química de Oxígeno	500
Cloruros	182
Plomo	0.09
Zinc	0.54
Cobre	0.09
Fierro	2.4
Sodio	308
Potasio	50

Fuente: Seoáñez, 1990.

PROPIEDADES DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS

PROPIEDADES FÍSICAS

Estas propiedades son adquiridas en su mayor parte, según sea el contenido total de sólidos en sus diferentes variantes de materiales flotantes, sustancias coloidales y productos disueltos.

Sólidos

Los sólidos orgánicos y los sólidos inertes suspendidos, como los limos y lodos de minas producen turbiedad que reduce la penetración de la luz y interfieren en la fotosíntesis.

Reducen la amplitud de algunos organismos para encontrar alimento, altera las cadenas alimenticias y transporta plaguicidas, bacterias y otras sustancias nocivas. Los sólidos que no quedan en solución cubren el fondo del cause, sofocando a los organismos que ahí se encuentren y dificultando el ciclo reproductivo de los peces.

Color

La coloración es indicadora de la concentración y la composición de las aguas contaminadas, puede variar del gris al negro. En la medida de que este es más intenso, la capacidad de absorción de la energía solar es mayor.

Temperatura

La temperatura de los afluentes urbanos no plantea grandes problemas, ya que oscila entre 10 y 20 °C; facilita así el desarrollo de una fauna bacteriana y una flora autóctona, ejerciendo una acción amortiguadora frente a la temperatura ambiente, tanto en verano como en invierno y en cualquier tipo de tratamiento biológico.

El aumento en la temperatura del agua, disminuye el contenido de oxígeno disuelto y hace a los organismos acuáticos más vulnerables a enfermedades, parásitos y sustancias químicas tóxicas.

Las temperaturas elevadas en el agua son indicadoras de actividad biológica, química y física en el agua, lo anterior tiene influencia en los tratamientos y abastecimientos para el agua, así como en la evaluación limnológica de un cuerpo de agua, por lo que es necesario medir la temperatura como un indicador de la presencia de compuestos y contaminantes en el agua. El valor de temperatura es un criterio de calidad del agua para la protección de la vida acuática y para las fuentes de abastecimiento de agua potable, es también un parámetro establecido como límite máximo permitido en las descargas de aguas residuales y una especificación de importancia en los cálculos de balance de energía y de calor de los procesos industriales (NMX-AA-007-1997).

Olor

El olor causado por la descomposición anaerobia de la materia orgánica es debido, sobre todo, a la presencia de ácido sulfhídrico, indol, escatoles, mercaptanos y otras sustancias volátiles y es eliminado por aspersión del agua en los diferentes sistemas biológicos que se están tratando.

Residuos y Sólidos Antiestéticos

Los residuos incluyen trapos, bolsas de plástico y otros objetos que se dejan ir por los escusados o que resbalan por los desagües de lluvia en los lugares en los que aún están conectados al sistema de aguas residuales; y sólidos como arena y grava gruesas, que entran sobre todo por el alcantarillado.

La materia productora de espuma y el color, aunque no son perjudiciales dan una apariencia indeseable a las corrientes de captación; se consideran como indicadores de la contaminación.

PROPIEDADES QUÍMICAS

Las propiedades químicas de las aguas residuales son proporcionadas por componentes que pueden ser agrupados en tres categorías, según su naturaleza: materia orgánica, compuestos inorgánicos y componentes gaseosos. Estos componentes afectan algunos parámetros como:

pH

La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9, aunque muchas de ellas tienen un pH ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Un pH muy ácido o muy alcalino, puede ser indicio de una contaminación industrial (members.triod.com/arturobola/content.htm).

El valor de pH de las soluciones acuosas es de gran importancia en la industria para definir la calidad de las mismas. Este valor se requiere para calcular el índice de Langelier que permite evaluar la agresividad o el poder incrustante del agua.

El valor de pH es un parámetro regulado por límites máximos permisibles en descargas de aguas residuales al alcantarillado o a cuerpos receptores, también es un parámetro de calidad del agua para usos y actividades agrícolas, para contacto primario y para el consumo humano (NMX-AA-008-1997).

Las marcadas variaciones del pH en el punto de descarga de un río o lago eliminan las especies de plantas y animales menos tolerantes y tienen considerable influencia en la toxicidad de algunos venenos.

Conductividad Eléctrica

La conductividad electrolítica es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura.

El valor de conductividad es un parámetro regulado por límites máximos permisibles en descargas de aguas residuales al alcantarillado o a cuerpos

receptores, también es un parámetro de calidad del agua para usos y actividades agrícolas, para contacto primario y para el consumo humano.

Las determinaciones de conductividad son de gran importancia pues dan una idea del grado de mineralización del agua natural, potable, residual, de proceso o bien del agua para ser usada en laboratorio en análisis de rutina o bien para trabajos de investigación (NMX-AA-093-1997).

La acumulación de sales de las aguas residuales domesticas y residuos de salmueras pueden interferir con el rehúso del agua por municipios, industrias de manufactura textil, papel y productos alimenticios o para la irrigación en la agricultura.

Cloruros

Los cloruros que se encuentran en el agua natural provienen de disolución de suelos y rocas que las contienen y que están en contacto con el agua, y en las regiones costeras de la intrusión del agua salada. Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domesticas, agrícolas e industriales en las aguas superficiales.

Las heces humanas contienen unos 6 g de cloruros. En lugares donde la dureza del agua es elevada, los ablandadores de agua aportan grandes cantidades de cloruros. La infiltración del agua subterránea a las alcantarillas contiguas a aguas saladas es también una fuente potencial de cloruros y sulfatos (Metcalf and Eddy, 1994).

El ión cloruro es uno de los iones inorgánicos que se encuentran en mayor cantidad en aguas naturales y residuales, su presencia es necesaria en aguas potables.

Un alto contenido de cloruros en el agua para uso industrial puede causar corrosión en las tuberías metálicas y en las estructuras. Las altas concentraciones de cloruro en aguas residuales, cuando éstas son utilizadas para el riego en campos agrícolas deteriora, en forma importante la calidad del suelo y evita el crecimiento de plantas (NMX-AA-073-1997).

El sabor salado del agua producido por los cloruros es variable y dependiente de la composición química del agua; cuando el cloruro está en forma de cloruro de sodio, el sabor salado es detectable a una concentración de 250 ppm de NaCl. Cuando el cloruro está presente como una sal de calcio ó de magnesio, el típico sabor salado de los cloruros puede estar ausente aún a concentraciones de 1,000 ppm.

La máxima concentración permisible de cloruros en el agua potable es de 250 ppm especificada por el Public Health Service, este valor se estableció más por razones de sabor, que por razones sanitarias. (members.triod.com/arturobola/content.htm)

Demanda Química de Oxígeno

Se entiende por demanda química de oxígeno (DQO) como la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte (NMX-AA-030-1997).

En la mayoría de los casos la DQO guarda una buena relación con la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.

(www1.ceit.es/Asignaturas/ecologia/Hipertexto/11CAgua/100CoAcu.htm)

La DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de dicromato en una solución ácida y convertirla en dióxido de carbono y agua. El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO₅ porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente.

La DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que, o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos (www.monografias.com/trabajos5/anagua/anagua.shtml).

Nitratos

El nitrato es una de las formas de nitrógeno de mayor interés en aguas naturales y residuales, se presenta generalmente como trazas en el agua superficial, pero puede alcanzar niveles elevados en aguas subterráneas.

El nitrato se encuentra sólo en pequeñas cantidades en las aguas residuales domésticas recientes, pero en el diluyente de las plantas de tratamiento biológico nitrificante, el nitrato puede encontrarse en concentraciones de hasta 30 mg de nitrato como N/l. El nitrato es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos, y en algunos casos ha sido identificado como el determinante del crecimiento.

Una concentración alta de nitratos es indicio de una etapa mayor de mineralización de los compuestos nitrogenados. En las aguas de algunos pozos suele encontrarse cantidades apreciables de nitratos, lo que es objetable desde el punto de vista sanitario (NMX-AA-079-1997).

Los nitratos pueden variar en una concentración de 0-20 mg/l como N en afluentes de aguas residuales con un intervalo de 15 a 20 mg/l como N. Las normas de agua potable USPHS limitan la concentración de nitrato a 45 mg/l debido a sus graves consecuencias y a veces sus efectos fatales sobre los niños (Metcalf and Eddy, 1994). En cantidades excesivas contribuye a la enfermedad conocida como metahemoglobinemia infantil.

Efluentes de agua residual descargados a las aguas superficiales sin la adecuada dilución puede traer como consecuencia altas concentraciones de nitratos. Sin embargo, es probable que esto se presente solamente cuando el caudal es bajo y cuando recibe grandes cantidades de agua residual (Hammer, 1986)

La presencia de nitratos es muy importante cuando se aplican sistemas de vertidos a suelos y además, por la capacidad de eutroficación que desarrollan estos compuestos cuando aparecen en concentraciones elevadas en la parte superficial del suelo (Seoáñez, 1997).

Fósforo

Por la década de los 70s fue evidente que los círculos para la protección al medio ambiente de algunos países estuvieron cada vez mas interesados en el destino de los fosfatos, particularmente el trifosfato empleado en los detergentes domésticos en polvo.

Lewin (1973) documentó que en Alemania, Canadá (Legge et al, 1970), Suecia y en casi cualquier lugar llegó a ser muy estricta la legislación para limitar el uso de fosfatos y se propusieron proyectos para su eliminación del agua residual o de los afluentes de cualquier agua residual.

Pequeñas cantidades de fósforo son interperizadas de las rocas minerales. El agua del suelo lixivia bajas concentraciones de fósforo al agua subterránea y eventualmente a los causes.

Las aguas naturales de zonas de captación forestales vírgenes usualmente tienen una concentración de fósforo disuelto (como ortofosfato) en el rango de 0.005 a 0.05 mg/l. Concentraciones de 0.01 mg/l sustentan el crecimiento de algas.

Algunos ortofosfatos son absorbidos por las partículas del suelo. Otra parte del fósforo constituye una porción de algún detrito orgánico transportado por un cause. Estas dos formas pueden exceder el contenido de fósforo soluble en 10 o más veces.

La mayoría de los causes no contaminados tienen menos de 0.03 mg/l de fósforo total aunque causes con menos de 0.10 mg/l de fósforo total pueden estar realmente contaminados.

Loehr (1968) citado por Dunne and Luna (1998) reporta que las concentraciones de fosfatos disueltos tan altas cómo de 30 mg/l en el agua torrencial de un abrevadero.

Las formas comunes de fósforo en aguas residuales son ortofosfatos (PO_4^-), polifosfatos (polímeros de ácido fosfórico), y formas orgánicas. Los polifosfatos, tales como hexametafosfato gradualmente se hidrolizan en el agua a formas ortosolubles y la descomposición bacteriana de compuestos orgánicos libera ortofosfatos (Hammer, 1986).

El agua residual doméstica es otro importante contribuyente de fósforo a los causes, más de la mitad es aportado por detergentes en formas conocidas como fosfatos condensados en solución o sólidos.

El escurrimiento del agua torrencial de las áreas urbanas puede acarrear altas concentraciones de residuos orgánicos ricos en fósforo a los causes. Dunne and Luna (1998) citan que Sylvester (1961) da valores superiores de 1.4 mg/l para el fósforo total (promedio de 0.2 mg/l) y arriba de 0.7 mg/l para el fósforo soluble (promedio de 0.08 mg/l) para el escurrimiento urbano.

El fósforo generalmente se encuentra en aguas naturales y residuales como fosfatos. Éstos se clasifican como ortofosfatos, fosfatos condensados y compuestos organofosfatados. Estas formas de fosfatos provienen de una gran cantidad de fuentes, tales como productos de limpieza, fertilizantes, procesos biológicos, etc. (NMX-AA-029-1997).

La contribución de fosfatos totales a las aguas residuales domesticas es alrededor de 1.6 Kg/persona/año, dando una concentración promedio de 10 mg/l. El 30 a 50 por ciento de fósforo es de las aguas sanitarias mientras que el 50 a 70 por ciento restante es de compuestos fosfatados usados en detergentes domésticos (Hammer, 1986).

El fosfato en las aguas residuales industriales es de poca significancia, puesto que se presenta acompañado de otros iones que están normalmente a más alta concentración. La eliminación de estos otros iones generalmente elimina el contenido de fósforo al mismo tiempo. Los polifosfatos son frecuentemente usados en la industria para evitar o aminorar los problemas causados por la formación de sarro en boíles, calentadores y circuitos de enfriamiento y recientemente en plantas de desalinización (Lewin, 1973).

Efectos Ecológicos del Fósforo

El principal efecto del fósforo en aguas superficiales es la eutroficación. Los resultados en lagos y presas son: excesivo crecimiento de algas causando reducción en la transparencia del agua, deplección de oxígeno disuelto,

liberación de fétidos olores, pérdidas de las especies de peces más sensibles y densos crecimientos de malezas acuáticas en bahías poco profundas (Hammer, 1986).

Generalmente se cree que una concentración de fósforo entre 0.01 y 0.1mg/l es suficiente para promover una acelerada eutroficación. Los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales a menudo contienen de 5 a 10 mg/l de fósforo. El caudal de un río que atraviesa una región ganadera puede acarrear de 1 a 4 mg/l (Arne et al, 1990).

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de organismos, por lo que la descarga de fosfatos en cuerpos de aguas puede estimular el crecimiento de macro y micro organismos fotosintéticos en cantidades nocivas (NMX-AA-029-1997).

Metales Pesados

Los metales pesados son aquellos que tienen una densidad por lo menos cinco veces más alta que la del agua (Encyclopedia of Environmental Science, 1980).

El Gran Diccionario del Medio Ambiente y de la Contaminación (1996) define a los metales pesados como aquellos metales con densidad superior a 4.5 g/cm³. Son componentes contaminantes de primer orden.

Los elementos metálicos de alta gravedad específica como el antimonio, bismuto, cadmio, cobre, oro, plomo, mercurio, níquel, plata, aluminio y zinc son considerados como metales pesados (Portilla y Zavala, 1990).

Los elementos pesados y los elementos traza son, en algunos casos, esenciales para el desarrollo y crecimiento de las plantas y microorganismos de los sistemas biológicos de tratamiento de aguas. Sin embargo, a determinados niveles estos elementos esenciales se pueden convertir en tóxicos.

Toxicidad

El mecanismo de toxicidad es frecuentemente un daño a un sistema enzimático. Esto sucede cuando los iones metálicos se unen a la enzima y causa un cambio en su configuración tridimensional, dando como resultado un cambio o pérdida de la función catalítica específica

Otro mecanismo de acción muy frecuente es el daño al ADN por la unión del metal, causando un daño genético por una interrupción de la transcripción por la incapacidad para producir proteínas específicas (especialmente enzimas), o por algún otro efecto tóxico.

Condiciones de Toxicidad

La toxicidad de un metal depende de su ruta de administración del compuesto químico con el cual se une; de la forma química del compuesto; del ambiente químico y las diferencias en susceptibilidad entre individuos y poblaciones.

La toxicidad resulta: 1) Cuando una concentración excesiva se presenta en un organismo por un periodo de tiempo prolongado. 2) Cuando el metal se presenta en una forma bioquímica inusual, o 3) Cuando el metal se presenta a un organismo por una vía inusual de entrada.

Los efectos en la salud humana de los metales en aguas naturales, potables y residuales pueden ir desde el intervalo de benéficos pasando por causantes de problemas hasta tóxicos, esto es dependiendo de su concentración, por lo que su cuantificación en cuerpos de agua es importante. Algunos metales son esenciales, otros pueden afectar adversamente a los consumidores de agua, sistemas de tratamiento de aguas residuales y cuerpos receptores de agua (PROY-NMX-AA-051-1999-SCFI).

Los síntomas más característicos de las intoxicaciones causadas por metales pesados son mencionados en la Cuadro 2.5.

Contaminación del Agua con Metales Pesados

Los metales tienen baja solubilidad y a menudo son movilizados para formar un complejo soluble con moléculas orgánicas o llegar a ser absorbidos por las partículas de arcilla.

Los metales pesados participan en la biosfera como “elementos traza” y son necesarios para el crecimiento de plantas y animales (Cannon and Hopps 1975, Maugh 1973) citados por Dunne and Luna (1998). Durante los últimos años la atención ha aumentado y ha sido enfocada a su impacto en la salud humana.

Cuando estos metales son liberados en el ambiente en concentraciones más grandes que “las naturales” pueden ser altamente tóxicos y pueden causar grandes destrucciones de los ecosistemas acuáticos y una disminución general de la eficiencia del agua para uso industrial y doméstico (Dunne and Luna, 1998).

En 1970, Barry Commoner, citado por Arne et al (1990), alertó a la nación del creciente problema de contaminación con mercurio en lagos, arroyos y aguas marinas. Commoner encontró que es la manufactura de cloro y cal de las salmueras, el proceso de “Clor-álcali”, como la principal fuente de contaminación de mercurio.

El Arsénico, Cobre, Plomo y Cadmio son a menudo depositados en lagos y arroyos del aire de la vecindad de fundidoras no férricas. Estas sustancias son también constituyentes de drenaje de minas y vertidos industriales. Los vertidos de plantas eléctricas y refinerías de metales contienen una gran cantidad de metales pesados (Arne et al, 1990).

Cuadro 2.5 Sintomatología de intoxicaciones por metales pesados, fuentes de intoxicación y algunas observaciones.

CONTAMINANTE	FUENTES DE INTOXICACIÓN	SINTOMATOLOGÍA		OBSERVACIONES
		INTOXICACIONES AGUDAS Y SUBAGUDAS	INTOXICACIONES CRÓNICAS	
MERCURIO	Minería del cinabrio y refinería, productos farmacéuticos, instrumentos científicos, detonadores, fungicidas, insecticidas, catálisis, pinturas y baterías. La alimentación.	Vómitos abundantes, alimentarios, biliosos y sanguinolentos. Estomatitis, con sialorrea, ribete rojo-oscuro gingival, inflamación grave de la mucosa, ulceraciones, hemorragia, caída de los dientes.	ENFERMEDAD DE MINAMATA Las puntas de los dedos de manos y pies y labios se adormecen. Pérdida del oído. Dificultad para hablar .articuladamente En los casos serios, ceguera total y demencia.	Debut como amenaza potencial en 1950 en Bahía de Minamata en Japón.
PLOMO	Utilización inconsciente de derivados plúmbicos. Equivocaciones (niños). Productos alimenticios. Manipulaciones industriales.	Gusto metálico, dulzón, sialorrea, ardores gástricos, náuseas y vómitos intensos, dolores epigástricos y abdominales con o sin diarrea. SATURNISMO LATENTE No tiene manifestaciones clínicas.	SATURNISMO CRÓNICO Caracterizado por: Adelgazamiento, adinamia y palidez. Ribete gingival de Burton Cólico saturnino. Ojo saturnino. Síntomas mentales.	La contaminación por el plomo es permanente. Sangre 2% con vida media de 36 ± 5 días; tejidos blandos vida media más prolongada; huesos 90% vida media de 10 a 28 años.
CADMIO	Intoxicación alimenticia contaminación de la comida y bebidas por envases chapeados de cadmio. Exposición industrial por la inhalación de humos de cadmio.	Por vía digestiva ocasiona vómitos, diarreas y dolores abdominales. Por vía respiratoria tos, disnea, cianosis e incluso un edema agudo de pulmones que puede llevar a la muerte.	Alteraciones respiratorias en forma de rinitis, anosmia, bronquitis y enfisema. Nefropatía cádmica. Osteomalacia.	Debut como amenaza potencial en los 50s en Japón; enfermedad llamada itai-itai. Se acumula en hígado y riñones. Vida media de 15 años.

Continuación de **Cuadro 2.5.**

CONTAMINANTE	FUENTES DE INTOXICACIÓN	SINTOMATOLOGÍA		OBSERVACIONES
		INTOXICACIONES AGUDAS Y SUBAGUDAS	INTOXICACIONES CRÓNICAS	
NIKEL	Manejo, procesamiento y preparación de alimentos por los utensilios que contienen grandes cantidades de níquel. Exposición industrial.	Dolor de cabeza, mareos, náuseas y vomito, dolor de pecho, garganta seca con tos seca, dificultad para respirar, respiración rápida, cianosis y debilidad extrema. Dermatitis alérgica en casi cualquier área de la piel.	En los pulmones se presentan hemorragias y necrosis. En el cerebro el daño a los vasos sanguíneos es similar. Cánceres de la variedad carcinoma escamoso. Dermatitis alérgica.	Se almacena principalmente en medula espinal, el cerebro, pulmones y el corazón.
CROMO	Respirando aire contaminado o ingiriendo agua o comida de suelos cercanos a sitios de desperdicio o de industrias que usan cromo.	Niveles moderados o altos de cromo VI dañan la nariz y pulmones.	Niveles muy altos en el aire irritan la nariz, pulmones, estómago e intestinos. Ingerir altas cantidades provoca dolores de estómago y úlceras, convulsiones, daño a hígado y riñones; incluso la muerte.	Contenido permisible en agua potable 100 µg/litro de cromo III y VI. EPA.

Fuentes: Blázquez, 1975.
Cruz, 1975.
Encyclopedia of Environmental Science. 1980
Maruecos et al.
www.atsdr.cdc.gov/tfacts46.html

Dethier (1975) y Emmet (1975), citados por Dunne and Luna (1998), encontraron que los metales tales como el fierro, zinc, plomo, molibdeno y cobre son liberados en pequeñas cantidades por el interperismo de las rocas.

Klein (1962), citado por Dunne and Luna (1998), menciona los efectos tóxicos de los metales pesados en la biosfera, en un caso donde un afluyente industrial produjo una concentración de 1-2 mg/l de cobre en un río Inglés y exterminó toda la vida animal hasta 16 Km aguas abajo. El efecto pudo ser observado 30 Km abajo de la descarga, aun después de una disolución de 0.1 mg/l varias especies de plantas y animales se vieron afectadas.

Otro ejemplo de vertido de un afluyente tóxico de una planta es documentado por Goolsby (1969) en Florida, y es citado también por Dunne and Luna (1998), donde un pequeño riachuelo con un área de drenaje de 11.4 Km² que usado por una planta industrial, que requería un caudal constante de alrededor de 0.01 m³/seg. En su regreso al río esta agua llevaba una carga de 1.5 ton/día de ácido y 0.4 ton/día de hierro ferroso disuelto (Fe²⁺). El pH promedio del cause era de 2.0 y la concentración promedio de hierro de 500 mg/l, el promedio del zinc 5.5 mg/l.

Mientras el agua fluía aguas abajo, el ácido era neutralizado (principalmente por afluentes de otras plantas químicas que en forma intermitente liberan lodos de residuos alcalinos), y el hierro ferroso era oxidado a hierro férrico (Fe³⁺) y se precipitaba como óxido férrico (Fe₂O₃) hidróxido férrico (Fe (OH)₃). Estos precipitados se acumulan como un lodo fino rojizo en el fondo del cause a una tasa de 340 Kg/día a lo largo de un tramo de 3.2 Km del río (Dunne and Luna, 1998).

El 85 por ciento de los ríos cuyas aguas desembocan en el Mediterráneo están contaminadas y las reservas de agua potable disminuyen en forma alarmante.

Los grandes centros industriales, agrícolas y ganaderos del litoral vierten cada año 120,000 toneladas de aceites minerales, 12,000 de sustancias orgánicas tóxicas, 60,000 de detergentes, 100 de mercurio, 3,600 de plomo, 2,400 de

cinc, 320,000 de fósforo, y 800,000 de nitrógeno. Además de miles de toneladas de contaminantes químicos, especialmente plaguicidas que son arrastrados desde puntos muy alejados por los vientos y que caen al mar con las lluvias (www.gencat.es/medioamb/cdmale-pubelac.htm).

Otros eventos que han dado como resultado desastres ecológicos y riesgos a la salud se citan en el Cuadro 2.6.

PROPIEDADES BIOLÓGICAS

El componente biológico es básico en las aguas residuales por su capacidad metabólica y su potencialidad de transformación de los restos químicos, orgánicos y físicos.

El compuesto orgánico de las aguas residuales es un medio de cultivo que permite el desarrollo de los microorganismos (bacterias, actinomicetos, hongos y algas) que cierran los ciclos biogeoquímicos de elementos como el azufre, el carbono, el nitrógeno o el fósforo, entrando frecuentemente en competencia eliminando los elementos microbianos patógenos que se pueden encontrar en el medio.

La presencia de determinados virus, los cuales aún en muy baja proporción respecto a las bacterias y a microorganismos en general, manifiestan enorme peligrosidad desde el punto de vista sanitario. Se han detectado unos 100 serotipos diferentes en las excretas humanas y su actuación depende del tipo de virus.

Los patógenos que prosperan en los ambientes acuáticos pueden provocar cólera, fiebre tifoidea, disenterías, poliomielitis, hepatitis y salmonelosis. Se transmiten al beber agua infectada, comer pescado y marisco contaminado, bañarse, nadar o vadear en aguas contaminadas o por insectos y caracoles acuáticos (www.monografias.com/trabajos/elagua/elagua.shtml).

El Cuadro 2.7 expone las enfermedades más comunes causadas por microorganismos, síntomas y algunas observaciones

Cuadro 2.6 Otros eventos de vertidos a corrientes de agua.

LUGAR	FECHA	EVENTO	OBSERVACIONES
Huelva (España)	---	La rotura de una balsa de fosfoyesos de la empresa Fertiberia.	Las aguas vertidas al río de Huelva poseían un considerable índice de metales pesados y de radiactividad.
Aznalcóllar (Sevilla)	25 de Abril de 1998	Rotura de la presa de contención de la mina de pirita (FeS ₂).	Vertido a los ríos Agrio y Guadiamar. Zinc 73 mg/l; < 1 mg/l Pb, Co, Ni y Cd; y As y Hg en escasas cantidades de 2.79 y 0.17 µg/dm ³ .
San Jerónimo de Surco (Peru)	1998	Actividad minera e industrial.	Vertido al río Rímac Altas concentraciones de plomo, cobre y fierro en aguas de regadío.
Brasil	1994	Cerca de 130 toneladas de desechos de mercurio son liberadas cada año en el medio ambiente circundante como resultado de esta actividad minera aurífera.	Contaminación de mercurio cientos de kilómetros aguas abajo del río Tapajós.
Cuenca de Yuriria y la presa de Silva, en Guanajuato, Méx.	1995	Descargas de cromo y otros químicos que desecha la industria de curtidores.	Desde 1994 muerte de 40 mil aves migratorias. Restos de cromo, plomo y mercurio en aves y altos niveles de cromo en el sedimento de la Presa de Silva.
San Luis Potosí	---	Descargas de residuos industriales y aguas negras provenientes de drenajes de comunidades y cabeceras municipales.	Altas concentraciones de arsénico, magnesio, mercurio y plomo en los ríos Moctezuma, Amajac y Claro.
Norte de Coahuila	Abril de 1994	Descargas de aguas negras provenientes de las plantas maquiladoras.	Mortandad de peces presencia de plomo, mercurio y cobalto de cobre en el agua del arroyo "Las Vacas".

Fuentes: edafologia.ugr.es/donana/casoaznal.html; www.laneta.apc.org/emis/noticias/toxica99.htm; www.el-mundo.es/diario/busca.html
www.gencat.es/medioamb/cdmale-pubelac.htm

Cuadro 2.7 Enfermedades causadas por microorganismos, síntomas y algunas observaciones.

Tipo de microorganismo	Enfermedad	Síntomas	Observaciones
Bacterias	Cólera	Diarreas y vómitos intensos. Deshidratación. Frecuentemente es mortal si no se trata adecuadamente.	Cada año se registran 16 millones de casos y 120,000 defunciones en países en vías de desarrollo.
	Tifus	Fiebres, diarreas y vómitos. Inflamación del bazo y del intestino.	Raras en los países industrializados.
	Disentería	Diarrea. Raramente es mortal en adultos, pero produce la muerte de muchos niños en países poco desarrollados.	
	Gastroenteritis	Náuseas y vómitos. Dolor en el digestivo. Poco riesgo de muerte.	
	Fiebre Tifoidea	Diarrea, vómito severo, bazo crecido, intestino inflamado; a menudo es mortal si no se trata.	
	Enteritis	Dolor estomacal severo, náusea, vómito, rara vez es mortal.	
Virus	Hepatitis infecciosa	Fiebre, dolor de cabeza severo, pérdida de apetito, dolor abdominal, ictericia, hígado crecido; rara vez es mortal, pero puede causar daño permanente en el hígado.	

Continuación de **Cuadro 2.7.**

Tipo de Microorganismo	Enfermedad	Síntomas	Observaciones
Virus	Poliomelitis	Dolores musculares intensos, debilidad, temblores, parálisis y puede ser mortal.	
Protozoos	Disentería amebiana	Diarrea severa, escalofríos y fiebre. Puede ser grave si no se trata.	
	Giardiasis	Diarrea, dolores abdominales y pérdida de peso.	Cada año se registran unos 500,000 nuevos casos, la mayoría en niños.
Gusanos	Esquistosomiasis	Dolor abdominal, erupción en la piel, anemia, fatiga crónica y mala salud crónica general.	Mata cada año a unas 20,000 personas (OMS).
	Dracunculosis	Enormes dolores, edemas, ampollas y úlceras que suelen ir acompañadas de fiebre, náuseas y vómitos.	En 1986 se contabilizaron tres millones y medio de casos y 120,000 detectados en 1995

Fuentes:

www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm

Tyler, 1994.

CONTAMINACIÓN DE CAUSES

Un arroyo o río que es usado para la disolución del agua residual depende de la autopurificación natural para asimilar los residuos y restaurar su calidad. La capacidad para recobrase de una descarga residual esta determinada por el carácter del río, incluyendo su marco climático. Un río profundo serpenteado con pozos naturales tiene pobre aireación y baja velocidad de transición. Los causes que son superficiales y empinados muestran buena aireación y altas velocidades, la condición más critica para la asimilación de residuos normalmente se dan en el otoño, resultado de los bajos caudales y alta temperatura del agua. Por otro lado, las peores circunstancias podrían resultar en el invierno bajo la capa de hielo (Hammer, 1986).

Un arroyo contaminado de una fuente sustancial de materia orgánica muestra cuatro zonas bastante bien definidas.

La zona de degradación, inmediatamente después de la descarga del alcantarillado, tiene una reducción progresiva de oxígeno disuelto consumido satisfactoriamente por organismos (DBO).

La zona de descomposición activa exhibe las características de una significativa contaminación. El oxígeno disuelto esta en un mínimo nivel y a menudo la descomposición anaeróbica de los lodos del fondo provocan malos olores. Las formas más grandes de vida, particularmente peces encuentran el ambiente de estas zonas contaminadas indeseable. Las bacterias y hongos prosperan en la descomposición de la materia orgánica, disminuye la DBO e incrementa el nitrógeno amoniacal.

En la *zona de recuperación*, la reaireación excede el índice de desoxigenación y el nivel de oxígeno disuelto incrementa paulatinamente. El nitrógeno amoniacal es convertido biológicamente a nitratos. Rotíferos, crustáceos y especies de peces tolerantes reaparecen. Las algas prosperan con el incremento de los nutrientes inorgánicos que resultan de la estabilización de la materia orgánica.

La *zona de agua limpia* sustenta una amplia variedad de plantas y animales acuáticos y los peces más sensibles. El oxígeno disuelto regresa a su valor original y la DBO ha sido casi eliminada (Hammer, 1986).

Cuando un material orgánico de alta energía tal como un agua residual cruda es descargada a un cause, un sin número de cambios ocurren aguas abajo del punto de descarga. Como el material orgánico se descompone, el oxígeno es usado a una tasa más grande que antes de que la contaminación se diera y el nivel de oxígeno disuelto disminuye. La tasa de reaeración o solución de oxígeno del aire se incrementa, pero esta a menudo no es lo suficientemente grande para prevenir una deplección total del oxígeno en el cause. Cuando esto pasa se dice que el cause es anaeróbico. Sin embargo el oxígeno disuelto no llega a cero y el cause se recupera sin experimentar un periodo de anaerobiosis (Arne et al; 1990).

PROBLEMÁTICA DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales urbanas producen una serie de alteraciones en los cursos y planos de agua debido a los diversos productos que contienen y que las áreas receptoras son cada vez menos capaces de asimilar.

La capacidad de auto purificación de una masa de agua es siempre limitada, mientras que el vertido de residuos a ella no tiene freno en el momento actual. Así pues el volumen de aguas residuales depuradas no alcanza en ningún país el nivel que debería tener hasta compensar la diferencia que existe con la capacidad de autodepuración de los ríos.

Alrededor del 80 por ciento de todas las enfermedades y más de una tercera parte de todas las muertes en los países en desarrollo están relacionadas con el agua.

Cada ocho segundos muere un niño por una enfermedad relacionada con el agua. Cada año, más de cinco millones de personas fallecen por dolencias vinculadas a su consumo, la falta de higiene en el hogar o defectos en la

canalización. El 30 por ciento de los casos de diarrea son originados por el agua, mata cada año a casi 3 millones de niños menores de cinco años, lo que representa la cuarta parte de muertes en este grupo de edad.

La OMS calcula que la morbilidad (número de casos) y mortalidad (número de muertes) derivadas de las enfermedades más graves asociadas al agua se reduciría entre un 20 y un 80 por ciento garantizando su potabilidad y adecuada canalización (www.monografias.com/trabajos/elagua/elagua.shtml).

SITUACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS

Los residuos municipales son la segunda fuente de la contaminación del agua en importancia después de los residuos industriales en los EE.UU. más de 20,000 áreas municipales con aguas residuales descargan en ríos y arroyos, casi a fines del siglo XIX, muchas descargas de los municipios no recibieron tratamiento alguno.

En los Estados Unidos, las aguas residuales de aproximadamente 50 por ciento de la población son descargadas en el océano o en los principales sistemas de ríos que fluyen al océano. El otro 30 por ciento de la población que vive en comunidades rurales sin alcantarillado. Esto deja solo el 15 por ciento del afluente de agua residual que va a lagos con peligro de eutroficación (Arne, et al, 1990).

En un estudio realizado por el Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (Cespedes), para el año 2020, México tendrá que pagar cuatro mil 300 millones de dólares para compensar el rezago en tratamiento de aguas residuales, ya que a la fecha apenas reciben manejo adecuado el 15 por ciento de las descargas provenientes del sector industrial y urbano.

Actualmente se producen cerca de 300 m³/seg de aguas residuales, de las cuales reciben tratamiento solamente 59 m³/seg.
(www.laneta.apc.org/emis/noticias/toxica99.htm)

De acuerdo con datos de la Semarnat y la Comisión Nacional del Agua publicados en 1999, en 1998 el volumen de descarga de aguas residuales industriales (azúcar, química, petrolera, alimenticia, agropecuaria, etc.) fue de 13,778,640 m³/día (159.48 m³/seg). En las localidades fue de 14,688,000 m³/día (170 m³/seg). El volumen total de descarga de aguas residuales industrial y municipal fue de 28,466,640 m³/día (329.48 m³/seg).

En México operan 1354 plantas con un gasto de operación de 21,951.48 LPS. En Coahuila existen 41 plantas de tratamiento de agua residual industrial con un gasto total de operación de 621.68 LPS. Del total 11 plantas son de tratamiento primario, 28 de tratamiento secundario y 2 de tratamiento terciario. En México existían en 1998 un total de 914 plantas de las cuales estaban en operación solo 727. Para 1998 en el Estado de Coahuila había un total de 9 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales de las cuales solo 6 estaban en operación y de estas una trabajaba por procesos biológicos, otra por lodos activados y cuatro por lagunas de estabilización.

En el país, para 1998 se trataba un volumen de 40,854.0 LPS. En Coahuila el volumen tratado de aguas residuales municipales para 1995 era de 585.0 LPS, en 1996 fue de 681.0 LPS, en 1997 fue de 534 LPS y en 1998 fue de 688 LPS.

MATERIALES Y METODOS

EL ARROYO DEL PUEBLO

El presente estudio se realizó con muestras recolectadas de una sección del arroyo del Pueblo, el cual esta situado en el municipio de Saltillo, Coahuila. Esta localidad se encuentra a 1600 msnm aproximadamente y tiene como coordenadas extremas: al norte $25^{\circ} 32'$, al sur $24^{\circ} 33'$ de latitud norte; al este $100^{\circ} 43'$ y al oeste $101^{\circ} 34'$ de longitud oeste.

El arroyo del Pueblo se localiza al norte del municipio. Pertenece a la región hidrológica Bravo-Conchos; Cuenca R. Bravo-San Juan; Subcuenca R. San Miguel; Clave RH-24Be. La Figura 3.1 precisa la ubicación del cause en el municipio de Saltillo.

El arroyo cruza la ciudad de Saltillo de sur a norte pasando por las siguientes colonias: Fracc. Asturias, Col. Vega, Col. Nazario S. Ortiz Garza, Col. Pueblo Insurgentes, Fracc. Universidad, Col. Anahuac, Col. Isabel A. Dávila, Col. González Norte, Fracc. Privada Emilio Carranza, Col. Antonio Cárdenas, Col. Cerro del Pueblo, Col, Panteones, Col. Zamora, Col Mirador, Fracc. Alameda, Col. Del Valle, Fracc. Colón Murguía, Col. Unidad Modelo, Fracc. Beta Centauro y Condominio, Col. Río Verde, Col. Ruiz González, Col. San Miguel, Col. Ladrillera, Col. Providencia, Fracc. Huerta de San Lorenzo, Col. Los Pinos, Col. Los Rosarios, Col. La Joyita, Col. La Esmeralda, Ampliación La Roma, Col. Patria Nueva, Col. I. Zaragoza, Col. Valle Verde, Col. San Nicolás de los Berros, Col. Diana Laura Riojas.

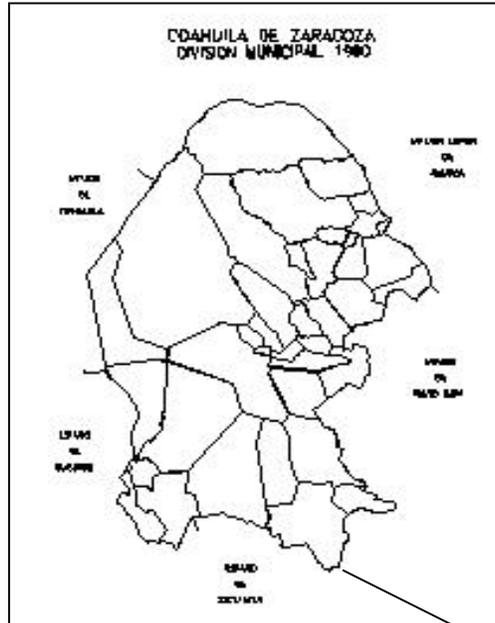


Figura 3.1 Ubicación del municipio de Saltillo en el estado de Coahuila, y del arroyo del Pueblo en el municipio de Saltillo.

Fuente: Cuaderno Estadístico Municipal, INEGI.

Este trabajo comprendió una extensión del arroyo de un poco más de 13,894.31 m. Entre las características que sobresalen están: en general es un cause poco profundo de caudal bajo y apacible; los suelos circundantes son variados, van de someros a profundos, y se pueden encontrar suelos de aluvión no consolidado (barro); con facilidad se hallan lutitas muy fragmentadas (almendrilla) y calizas (piedra bola). La vegetación que prevalece son los pastos, plantas arbustivas y algunos árboles.

El arroyo del Pueblo es utilizado como basureo y muchas de las aguas de desecho generadas por las colonias circundantes son vertidas directamente. Las industrias también contribuyen con las descargas.

Muchas de las personas usan el agua del arroyo del Pueblo para varios fines entre ellos: lavar ropa, para bañarse, y para dar de beber a algunos animales o para regar algunas parcelas familiares.

Otro aspecto importantes es que el agua de este cause es utilizada por las personas para la fabricación de ladrillo de barro, al hacer esto se ponen en contacto directo con el agua del arroyo.

Figura 3.2 Punto de muestreo 13. Se logra observar lo profundidad que pueden alcanzar los suelos de igual forma se ve la vegetación que prevalece.

Figura 3.3 Punto de muestreo 26. Se observa una descarga procedente de una industria.

Figura 3.4 Punto de muestreo 22. Se muestra uno de los fines que se hacen sin la mínima conciencia.

Figura 3.5 Punto de muestreo 15. Se observa que el drenaje municipal también contribuye con descargas al arroyo

Cuadro 3.1 Algunas especies que son encontradas en el arroyo del Pueblo.

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Avena Silvestre	<i>Avena fauta</i>	Trompillo	<i>Solanum abrojo</i>
Cabeza de Toro	<i>Tribulus terrestris</i>	Zacate Barbón	<i>Polypogon elongatus</i>
Calabacilla Loca	<i>Curcubita feotidisima</i>	Zacate Casamiento	<i>Eragrostis mexicana</i>
Cuetillo	<i>Diplotaxis muralis</i>	Zacate de Agua	<i>Agrostis semiverticillata</i>
Escobilla	<i>Xanthocephalum sarothrae</i>	Zacate Johnston	<i>Sorghum helepense</i>
Girasol	<i>Heliantus annus</i>	Zacate Pata de Gallo	<i>Cynodon dactylon</i>
Gualda	<i>Reseda luteola</i>	Zacate Pinto	<i>Echinochloa crusgalli</i>
Hierba Amargosa	<i>Parthenium Hysterophorus</i>	Zacate Rohdes	<i>Chloris gayana</i>
Hierva de Humedad	<i>Polygonum pensylvanicum</i>	Zacate Salvación	<i>Dromus uniolooides</i>
Lengua de Vaca	<i>Rumex crispus</i>	Especies Arbóreas	
Lentejilla	<i>Lepidium virginicum</i>	Mezquite	<i>Prosopis glandulosa</i>
Maravilla	<i>Mirabilis jalapa</i>	Olmo	<i>Ulmus americana</i>
Palocotillo	<i>Heliantus laciniatus</i>	Pirúl	<i>Schinus molle</i>
Pegajosa	<i>Setaria adhaerens</i>	Sauce	<i>Salís bonpladiana</i>
Rodadora	<i>Salsola iberica</i>		

MUESTREO

RECIPIENTES PARA LAS MUESTRAS

Los mejores recipientes para las muestras son los fabricados en cuarzo o TFE. Estos recipientes son caros, por lo que se prefieren los de polipropileno o polietileno lineal con tapón. También se pueden utilizar recipientes de vidrio de borosilicato pero hay que evitar el empleo de recipientes de vidrio blando (Garza, 2001).

En éste estudio se emplearon recipientes de vidrio de borosilicato de tapa con empaque con una capacidad aproximada de un litro.

SELECCIÓN DEL SITIO DE MUESTREO

Por regla general, las muestras se deben tomar en puntos donde exista un flujo turbulento que asegure una calidad uniforme en la muestra. Se recomienda, en el caso que se muestre en cauces el uso de la llamada “red de muestreo”, la cual consiste en dividir la sección de la corriente en tantas partes como se crea necesario para abarcar todas las posibles variaciones que la calidad del agua pueda tener a diferentes distancias de la orilla y distintas profundidades. Lógicamente este sistema es el más adecuado para obtener muestras representativas, pero también es el más complejo y difícil de llevar a cabo (Mendoza et al, 1977).

Con la finalidad de eficientar recursos y tiempo se optó por un muestreo simple, además las características de poca profundidad y bajo caudal hacían innecesario un estudio exigente.

El muestreo simple consiste en tomar muestra individual en un corto período de forma tal que el tiempo empleado en su extracción sea el transcurrido para obtener el volumen necesario (NOM-AA-3-1980).

La muestra se tomó en el centro de la corriente o lo más cercano a ésta, para cumplir con la condición de flujo turbulento; la profundidad fue definida por el cause, procurando sumergir lo más posible el recipiente de muestreo.

Antes de tomar la muestra se enjuagó el recipiente dos o tres veces con el agua de interés y cuando fue posible se tapó el recipiente antes de sacarlo de la corriente. La muestra se tomó en sentido opuesto a la corriente. El muestreo correcto se hace de aguas abajo a aguas arriba.

SISTEMA DE MUESTREO

Una vez establecidos los diferentes puntos de muestreo y considerando que el fin primordial del estudio era conocer la variabilidad de la calidad del agua en el cause, se realizó un muestreo simple por cada punto para obtener un juego de muestras en tres estaciones de año, invierno, primavera y verano.

Este sistema tiene el defecto de no indicar las variantes que pudiera haber en la calidad del agua debido a factores tales como: precipitaciones y descargas.

RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras se recolectaron en las estaciones de invierno, primavera y verano del 2001, en los meses de febrero y principios de marzo; finales de mayo y principios de junio; y finales de agosto y principios de septiembre respectivamente.

CONSIDERACIONES DEL MUESTREO

Cada muestra se etiquetó y se tomó la temperatura casi inmediatamente; en una libreta de campo se detallaron algunas características sobresalientes del lugar y de la muestra, además se tomó una fotografía de cada punto de muestreo.

PUNTOS DE MUESTREO

La accesibilidad fue un factor determinante en la selección del punto de muestreo, puesto que recorrer el cause para seleccionar los puntos ideales es de alto riesgo por las diferentes pandillas, que utilizan el arroyo como guarida. Además, algunas colonias colindan con el cause, restringiendo el acceso y en

otros casos acceder al cause era muy difícil por las propias características del cause.

Como la accesibilidad fue el factor determinante en la selección del punto de muestreo, los puntos se escogieron con ayuda de planos escala 1:5000 de la ciudad de Saltillo.

El criterio que se siguió fue el de: a) muestrear donde el acceso sea sencillo y rápido; y b) en lugares muy frecuentados.

A lo largo del arroyo del Pueblo se seleccionaron 25 puntos y uno más que se asume no pertenece a este cause. Este último punto se escogió por las características de gasto considerable, y de aspecto y olor desagradable.

Aunque los puntos 1, 2 y 21 son tributarios se asume que si pertenecen al cause por la cercanía del punto de muestreo con el cause principal.

La localización de algunos de los puntos seleccionados están indicados de la Figura 3.6.

MÉTODOS EMPLEADOS

Todas las determinaciones que se realizaron fueron condicionadas por la disponibilidad de reactivos y equipo; en algunos casos fueron modificadas, pero conservando el principio.

Los análisis fueron físicos y químicos. Entre los físicos están: Temperatura (al muestreo), Sólidos Totales (ST) y Sólidos Disueltos Totales (SDT). Las determinaciones químicas abarcaron pH, Conductividad Eléctrica (CE), Cloruros (Cl^-), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Carbonatos y Bicarbonatos (CO_3 y HCO_2), Fósforo (P), Nitratos (NO_3), y algunos metales y no metales por espectrofotometría de absorción atómica; que fueron Plomo, Cobre, Zinc, Hierro, Magnesio, Potasio, Calcio y Sodio.

Algunos análisis se realizaron al momento de muestrear, otros al día siguiente del muestreo. También se prepararon muestras con ácido nítrico y clorhídrico con la finalidad de preservar la muestra para posteriores análisis. Todo lo anterior según la necesidad de la determinación a realizar.

Temperatura

Se determinó con un termómetro de mercurio en vidrio.

pH

La determinación de este parámetro se realizó con potenciómetro, previamente estandarizado con solución buffer 7.0.

Conductividad Eléctrica

Se realizó mediante el puente de Wheatstone, tipo corriente alterna.

Sólidos Totales

El método utilizado fue el gravimétrico. Evaporación de una muestra de volumen conocido y posteriormente obteniendo la diferencia de pesos.

Sólidos Totales Disueltos

El cálculo se realizó con un instrumento Orion Model 150 con una exactitud del 85%.

Carbonatos y Bicarbonatos

La alcalinidad se determina por titulación de la muestra con una solución valorada de un ácido fuerte como el HCl, mediante dos puntos sucesivos de equivalencia, indicados por medio del cambio de color de dos indicadores ácido-base adecuados (fenolftaleina y azul de bromotimol).



(members.triod.com/arturobola/content.htm)

Cloruros

Por argentometría

Para analizar los cloruros, la muestra, a un pH neutro o ligeramente alcalino (7.0 a 8.3), se titula con nitrato de plata (AgNO_3), usando como indicador cromato de potasio (K_2CrO_4). El cloruro de plata AgCl , precipita cuantitativamente primero, al terminarse los cloruros, el AgNO_3 reacciona con el K_2CrO_4 formando un precipitado rojo ladrillo de Ag_2CrO_4 .



(members.triod.com/arturobola/content.htm)

Demanda Química de Oxígeno

Método de reflujo abierto / método de titulación

La muestra se coloca a reflujo en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Después de la digestión, el dicromato no reducido se mide por titulación para determinar la cantidad de dicromato de potasio consumido y calcular la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente (NMX-AA-030-1997).

Fósforo

El método utilizado fue el del azul del complejo fosfomolibdico reducido en ácido ascórbico.

Nitratos

Método de sulfato de brucina.

La brucina es un complejo natural que reacciona con los nitratos bajo condiciones ácidas y temperatura elevada para producir un complejo de color amarillo. El sistema de color no obedece a la ley de Beer, aunque haciendo una gráfica de transmitancia en función de la concentración de nitrato se obtiene una curva regular. Es necesario desarrollar simultáneamente una serie de patrones y de muestras. La intensidad de color se mide a una longitud de onda de 410 nm. (Métodos Estándar para el Examen de "Aguas y Aguas de Desecho, 1963)

Metales

Por espectrofotometría de absorción atómica (absorción directa)

Se basa en la generación de átomos en estado basal y en la medición de la cantidad de energía absorbida por estos, la cual es directamente proporcional a la concentración de ese elemento en la muestra analizada (PROY-NMX-AA-051-1999-SCFI).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos de los tres muestreos de agua realizados a lo largo del arroyo del Pueblo durante tres estaciones (invierno, primavera y verano).

También se presenta el, valor mínimo, valor máximo, promedio y desviación estándar de cada parámetro determinado en las tres estaciones de muestreo. Los puntos que fueron tomados en cuenta son del 1 al 25, el punto de muestreo 26 fue excluido ya que la conexión que tiene con el arroyo del Pueblo se desconoce.

Así como también una comparación con los límites máximos permisibles establecidos en la norma NOM-001-ECOL-1996 y una prueba de heterogeneidad de varianza para corroborar la variación de los contaminantes entre muestreos.

Parámetros Evaluados

Temperatura

La Figura 4.1 muestra la variación de la Temperatura en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo. Remarcando que en el muestreo de invierno no se midió la temperatura en todos los puntos de muestreo.

En los datos registrados se observa para el muestreo de invierno que en los primeros puntos (1 al 11) la Temperatura no excedió los 20 °C y en los tres últimos puntos la Temperatura sobrepasó los 20 °C lo que hace suponer que si se hubiera medido la temperatura en los puntos faltantes se habría presentado un ligero incremento paulatino a partir de los puntos 13 o 14.

Para los muestreos de primavera y verano se corrigió el error del primer muestreo y como se nota en la Figura 4.1 se tiene la Temperatura de todos los puntos de muestreo.

Figura 4.1 Variación de la Temperatura en los diferentes puntos de muestreo durante las estaciones de muestreo.

En el muestreo de primavera la Temperatura se mantuvo en un rango de 20 a 30 °C; se observa que en los puntos 1 al 13 la Temperatura fue inferior a los 25 °C y del punto 14 en adelante la Temperatura alcanzó valores de hasta 30 °C. Los valores más altos se registraron en los puntos 14, 15 y 16.

En el caso del muestreo de verano como se aprecia en la Figura 4.1 las Temperaturas registradas tampoco excedieron los 30°C y al igual que en el muestreo de primavera los puntos 14, 15 y 16 registraron los valores más altos. Si se observa con detenimiento la Figura 4.1 se observa que en forma general en los muestreos de primavera y verano las Temperaturas tuvieron un comportamiento más o menos similar en rango, no así en el muestreo de invierno donde la Temperatura fue considerablemente menor.

El incremento que se dio en los muestreos de primavera y verano a partir de los puntos 13 al 16 es atribuido más que todo a la hora en que se muestreo puesto que la muestra se recolectó alrededor del medio día; y se observa del punto 17 en adelante la temperatura desciende a consecuencia que la muestra se tomó al atardecer.

El color de la muestra era más oscuro conforme se avanzaba en el cause de aguas arriba a aguas abajo por lo que otro factor pudo haber influido en los cambios de Temperatura pudo haber sido la coloración ya que a mediada que éste es más intenso, la capacidad de absorción de la energía es mayor.

pH

El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 es de 5 a 10 unidades; en todos los puntos y en las tres estaciones de muestreo los valores extremos registrados caen dentro del rango permisible.

Sin embargo, se nota una variación considerable de una estación a otra (Figura 4.2). En el caso del muestreo de invierno se nota un incremento paulatino de los puntos 1 al 5 y que se mantiene casi uniforme hasta el punto 10; se incrementa considerablemente en el punto 16 y a partir de este punto disminuye drásticamente hasta el punto 26.

Figura 4.2 Variación del pH en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo.

En el muestreo de invierno, se observa una tendencia a la alcalinidad debido probablemente a la disminución de la actividad microbiana o la presencia de Carbonatos y Bicarbonatos. En este caso en general, los valores variaron entre 6.8 a 8.0 registrándose solamente un pH de 6.6 en el punto 26.

Los valores registrados en el muestreo de primavera variaron de 6.2 en los puntos 24, 25 y 26 a 7.3 en el punto 16.

Los valores obtenidos en el muestreo de primavera muestran una tendencia a la neutralidad, principalmente entre los puntos 3 al 23 y en el resto de los puntos la tendencia fue ligeramente ácida.

En la Figura 4.2 se aprecia un comportamiento muy similar entre el muestreo de invierno y el muestreo de primavera, con un repentino cambio en el punto 16 tal y como se presentó en el primer muestreo. Al comparar los valores obtenidos en el primer muestreo con los del segundo muestreo se tiene una variación entre valores extremos de hasta 0.7 unidades de pH.

El comportamiento del pH en el muestreo de verano varió entre 5.7 y 6.7. Aunque los valores detectados en el verano fueron más bajos, en la Figura 4.2 se puede notar el mismo patrón de los muestreos de invierno y primavera; ubicándose los valores máximos en el punto 16 y los valores mínimos en los últimos puntos de muestreo.

También se nota un decremento casi uniforme del pH de invierno a verano en los diferentes puntos de muestreo. Este comportamiento es atribuido probablemente a la actividad microbiana que es diferente según la estación del año, aumentando en las estaciones cálidas y disminuyendo en la frías.

Conductividad Eléctrica

En el comportamiento de la Conductividad Eléctrica (CE) en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo (Figura 4.3), se observa claramente que en invierno los valores de CE de los puntos 1 al 13 oscilan alrededor de 1.3 ds/m y a partir del punto 14 los valores sobrepasan considerablemente 1.3 ds/m, alcanzando hasta 2.6 ds/m en el punto 26.

Figura 4.3 Variación de la Conductividad Eléctrica en los diferentes puntos de muestreo y en las tres estaciones de muestreo.

Para el muestreo de primavera se puede observar el mismo patrón que se presentó en el primer muestreo donde a partir del punto 14 aparece un notable incremento de la CE, así mismo se observa el incremento drástico a partir del punto 13 manteniéndose así en el resto de los puntos de muestreo.

A diferencia de los muestreos de invierno y primavera donde se presentó un cambio claramente definido a partir del punto 14, en el muestreo de verano se presenta el mismo comportamiento pero de manera menos marcada.

La explicación al comportamiento que se presentó en los tres muestreos, donde a partir del punto 14 los valores de CE se incrementaron es atribuido a una descarga de aguas residuales muy cerca del punto de muestreo o por que el distanciamiento entre el punto de muestreo 13 y 14 fue considerablemente mayor respecto a los demás puntos; y el por que los valores mantuvieron el incremento puede ser consecuencia del aumento del caudal alimentado de las diferentes descargas de agua residuales que se vierten al arroyo del Pueblo.

Sólidos Totales

La Figura 4.4 muestra la variación en el contenido de Sólidos Totales (ST) en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo. En ella se aprecia que la concentración de ST en invierno en los puntos 1 al 13 permaneció muy por debajo de los 1000 mg/l y que a partir del punto 14 el contenido de ST alcanzó y sobrepasó los 1000 mg/l (Cuadro A.3).

Figura 4.4 Variación de Sólidos Totales en los diferentes puntos de muestreo durante las estaciones de muestreo.

La diferencia de concentración entre el punto 13 y 14 es más del doble. 530 mg/l en el punto 13 y 1388 mg/l en el punto 14.

El contenido de ST en el muestreo de primavera mostró el mismo patrón que se presentó en el muestreo de invierno.

Sin embargo, en el punto 8 se observa una variación muy marcada presentándose la concentración de ST más alta en el muestreo de primavera. Esta peculiaridad se atribuye a una precipitación que se presentó horas antes de recolectar la muestra y que se recolecto en ese momento por la disponibilidad del tiempo.

La concentración de ST en el muestreo de verano tuvo un comportamiento muy similar al que se presentó en los muestreos de invierno y primavera, con la diferencia de que el cambio de concentración se dio a partir del punto 18.

En el muestreo de verano el punto 21 fue el que sobresalió considerablemente, en esta ocasión no se atribuye a una posible precipitación sino a las mismas características del sitio de muestreo donde se observó una mayor velocidad del cauce lo que provocó una mayor turbiedad y la poca profundidad del cauce por lo que al tomar la muestra probablemente se recogió algo de sedimento.

La explicación al comportamiento que se presentó en los muestreos de invierno y primavera, del cambio drástico a partir del punto 14 es atribuido a los mismos factores que influyeron en el patrón que siguió la CE; aunado a esto la profundidad, velocidad y gasto del cauce.

Ahora bien, la razón del cambio en el muestreo de verano, donde éste se dio hasta el punto 18 se atribuye más que todo a un cambio de velocidad del caudal al momento de muestrear y al caudal en si.

Sólidos Disueltos Totales

La variación de Sólidos Totales Disueltos (STD) a lo largo del cauce y en las tres estaciones de muestreo se presenta en la Figura 4.5. Aquí se observa que en invierno no se determinó el contenido de SDT, debido a que no se tenía la disposición de aparato que se utilizó para su determinación.

La variación de STD que se presentó en el muestreo de primavera fue muy similar al comportamiento que se observó en los Sólidos Totales del muestreo de primavera, del punto 1 al 13 la concentración no sobrepasó los 1000 mg/l y del punto 14 en adelante, tal concentración se excedió.

Figura 4.5 Variación de Sólidos Totales Disueltos en los diferentes puntos de muestreo y en las tres estaciones de muestreo.

En el muestreo de verano se presenta el mismo patrón pero el cambio se da a partir del punto 10, disminuyendo en los puntos 16 y 17 y aumentando nuevamente a partir del punto 18; comportamiento es muy similar al que se presentó en los Sólidos Totales del muestreo de verano.

La explicación a estos comportamientos es la misma que se dio al discutir la variación de Sólidos Totales.

Demanda Química de Oxígeno

La Figura 4.6 muestra el comportamiento que presentó la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en los tres muestreos realizados.

Se observa una notoria diferencia entre el muestreo de invierno y los muestreos de primavera y verano, la cual se discutirá más adelante.

Se nota en la Figura que en el muestreo de invierno no existe patrón alguno pero aparentemente del punto 1 al 9 se tiene cierta uniformidad y los puntos 24, 25 y 26 mostraron los valores más altos.

En el muestreo de primavera la variación de la DQO respecto al muestreo anterior fue excesiva (Cuadros A.3 y A.4), pero se establece de nueva cuenta en los puntos 24, 25 y 26 los valores más altos.

Figura 4.6 Variación de la Demanda Química de Oxígeno en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo.

En el muestreo de verano tampoco se presentó ningún patrón y en esta ocasión solo el punto 26 resaltó considerablemente.

Tomando en cuenta que el método fue simplificado y la DQO se refiere a la materia orgánica e inorgánica susceptible a ser oxidada, los resultados obtenidos muestran la diferencia de las circunstancias que prevalecen en cada punto de muestreo.

Ahora bien, la enorme diferencia que se presentó entre el muestreo de invierno y los muestreos de primavera y verano se atribuye a la diferencia en tiempo que existió entre la recolección y el análisis. En el lote de muestras de invierno el tiempo de almacenamiento fue mayor.

Cabe destacar que las muestras y el sitio de muestreo de los puntos 24, 25 y 26 presentaron las peores características de olor y aspecto, además de que en estos puntos el caudal era mayor en comparación al resto de los puntos de muestreo.

Carbonatos

De acuerdo a lo que se muestra en la Figura 4.7 respecto a la variación del contenido de Carbonatos; en el muestreo de invierno no se encuentra el patrón que se había venido presentando en los anteriores parámetros donde, a partir del punto 14 aparecía un incremento, pero si se establece el cambio drástico en concentración del punto 13 al punto 14 que se ha presentado en la mayoría de los parámetros interiores.

Figura 4.7 Variación de los Carbonatos en los diferentes puntos de muestreo durante las estaciones de muestreo.

Para el muestreo de primavera, en general, se establece un patrón donde de los puntos 1 al 6 el contenido de Carbonatos difícilmente excede los 50 mg/l; del punto 7 al 13 no se exceden los 20 mg/l y a partir del punto 14 en adelante tal concentración se excede en la mayoría de los puntos. También se observa un

cambio muy marcado del punto 13 al 14, donde este último se excede en comparación al punto 13 por lo menos ocho veces más.

En el muestreo de verano la variación de Carbonatos no muestra un patrón a seguir. Si se observa con detenimiento la Figura 4.7 se encuentra que el valor máximo se detectó en los primeros puntos de muestreo, situación que hasta ahora no se había presentado, excepto en los ST del muestreo de primavera. En los parámetros anteriores el valor máximo se había encontrado después del punto 14.

Esta gran variación en el contenido de Carbonatos y la presencia misma de carbonatos se atribuye a la naturaleza de los suelos de la región que son ricos tanto en Carbonatos como en Bicarbonatos.

Bicarbonatos

La concentración de Bicarbonatos (Figura 4.8) en invierno presentó un amplio rango de variación (0 a 785 mg/l); a partir del punto 18 el contenido de Bicarbonatos aumenta en forma considerable y en los últimos puntos de muestreo se registran los valores máximos (24, 25 y 26).

Figura 4.8 Variación de los Bicarbonatos en los diferentes puntos de muestreo a lo largo de las tres estaciones de muestreo.

En el muestreo de primavera la concentración de Bicarbonatos en la mayoría de los puntos no sobrepasó los 100 mg/l y al igual que el muestreo anterior los valores máximos se detectaron en los últimos tres puntos de muestreo.

La concentración de Bicarbonatos en el muestreo de verano mostró un comportamiento muy similar al observado en el muestreo de primavera, pero en esta ocasión el valor máximo se presentó en el punto 18.

Esta variación que se presentó en los tres muestreos se atribuye a los mismos factores que influyeron en la variabilidad de los Carbonatos y posiblemente a la liberación de CO₂ debido a la turbulencia que se presentó en algunos puntos de muestreo.

Magnesio

La Figura 4.9 muestra el comportamiento de la concentración del Magnesio en los diferentes puntos de muestreo y en las tres estaciones de muestreo.

En el muestreo de invierno, de los puntos 1 al 13 la concentración de Magnesio se mantuvo por debajo de los 40 mg/l y del punto 14 en adelante este límite se sobrepasó por mucho y logró alcanzar concentraciones de hasta 78 mg/l.

En el muestreo de primavera se presentó el mismo patrón (Figura 4.9). a excepción del punto 5 donde se sobrepasó los 40 mg/l. Curiosamente el punto 26 de este muestreo alcanzó más de 130 mg/l, contrastando con todos los datos registrados.

Figura 4.9 Variación del Magnesio en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo.

Un comportamiento muy distinto se presentó en el muestreo de verano, solamente los puntos 20, 21 y 22 excedieron considerablemente los 40 mg/l.

Potasio

La Figura 4.10 muestra la variación del Potasio en los tres periodos de muestreo; se observa que en el muestreo de invierno en la mayoría de los puntos la concentración de Potasio no excedió los 10 mg/l y que la concentración mayor se detectó en el primer punto de muestreo.

Figura 4.10 Variación del potasio en los diferentes puntos de muestreo y en los periodos de muestreo.

En el muestreo de primavera el comportamiento de la concentración de Potasio fue bastante variable pero en general se presentan mayores concentraciones después del punto 14 pero el valor máximo se detectó antes del punto 14.

Para el muestreo de verano la variabilidad del Potasio fue muy marcada y no siguió ningún patrón pero si el valor máximo se registró después del punto 14.

Calcio

En la Figura 4.11 se muestra la variación de la concentración de Calcio. Para el muestreo de invierno se observa una aparente uniformidad de los puntos 3 al 16 que no excede los 100 mg/l y del punto 17 en adelante se alcanzan concentraciones de hasta 200 mg/l.

Figura 4.11 Variación del Calcio en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo.

En general, en el muestreo de primavera se presenta el mismo patrón que se describió para el muestreo de invierno; esta vez con una mayor variabilidad entre puntos de muestreo pero claramente a partir del punto 17 las concentraciones de Calcio se exceden por más de 300 mg/l.

Para el muestreo de verano el patrón que se presentó en los muestreos anteriores no se siguió pero en general los valores máximos se registraron después del punto 17.

Sodio

La variación de Sodio a lo largo de los tres muestreos se muestra en la Figura 3.12. En el muestreo de invierno de los puntos 1 al 13 la concentración de Sodio en general, no sobrepasó los 200 mg/l y a partir del punto 14 este límite se excedió notoriamente y alcanza concentraciones de hasta 400 mg/l.

Figura 4.12 Variación del Sodio en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo.

En el muestreo de primavera la variación de Sodio fue muy similar al muestreo anterior, en esta ocasión de los puntos 1 al 13 la concentración de Sodio oscila alrededor de los 300 mg/l y aparece un excesivo incremento del punto 13 al 14; a partir del punto 14 la concentración de Sodio en el resto de los puntos aumentó y alcanzó concentraciones de hasta 1000 mg/l.

La variabilidad del Sodio en el muestreo de verano fue muy similar a la descrita en el muestreo de invierno pero con concentraciones menores.

Cloruros

En el caso de la variación de Cloruros (Figura 4.13) en el muestreo de invierno se nota claramente que difícilmente se sobrepasó una concentración de 100 mg/l; excediendo esta concentración ligeramente en los puntos 15 y 17.

Así mismo, para el muestreo de primavera el comportamiento cambió; de los puntos 1 al 10 la concentración se mantuvo por debajo de los 100 mg/l y del

punto 11 en adelante esta concentración se excedió en general, considerablemente.

Figura 4.13 Variación de Cloruros en los diferentes puntos de muestreo y en las tres épocas de muestreo.

En el muestreo de verano el patrón fue muy similar al observado en el muestreo de primavera, de nuevo el cambio de concentración entre puntos se da a partir del punto 10 sin embargo en este caso se alcanzaron concentraciones de más de 200 mg/l.

La notable diferencia entre el muestreo de invierno y los muestreos subsecuentes, donde la concentración de Cloruros en el primer muestreo se mantuvo por debajo de los 100 mg/l en la mayoría de los puntos es atribuida a una demanda menor de agua en esta temporada; y el por que en los muestreos de primavera y verano en general a partir de ciertos puntos la concentración se incremento, se atribuye a una demanda mayor de agua de suministro por parte de la población, a la cual se le añade cloro para su potabilización, aunado a esto un aumento en el uso de ablandadores de agua.

Al respecto Metcalf and Eddy (1994) mencionan que una de las fuentes de Cloruros en las aguas superficiales es la descarga de aguas residuales domesticas, agrícolas e industriales, así mismo estos autores dicen que en lugares donde la dureza del agua es elevada los ablandadores de agua aportan grandes cantidades de Cloruros.

Estas observaciones concuerdan con las suposiciones que anteriormente se mencionaron.

Cabe destacar que la concentración máxima para agua potable especificada por el Public Health Service es de 250 mg/l de Cloruros, no tanto por razones sanitarias sino por razones de sabor.

Fósforo

En el muestreo de invierno como se observa en la Figura 4.14 se presenta cierta uniformidad de los puntos 1 al 13 en concentración de Fósforo, la cual se alrederor de los 0.003 mg/l; en el punto 14 se presenta un ligero incremento que desciende paulatinamente, este mismo comportamiento se presenta en los puntos 18 y 21. En los puntos 24, 25 y 26 la concentración de Fósforo aumentó excesivamente alcanzando concentraciones de hasta 0.15 mg/l.

Un comportamiento muy similar se observa en el muestreo de primavera, de nueva cuenta existe cierta uniformidad en los primeros puntos de muestreo cuya concentración oscila alrededor de los 0.003 mg/l, que se rompe en los puntos 11, 14, 15, 18 y 19 con la tendencia de disminuir notoriamente aumentando de nuevo en los puntos 24, 25 y 26 la concentración de Fósforo aquí excedió por mucho pero en esta ocasión a diferencia del muestreo anterior es menos atenuante puesto que en los puntos 18 y 19 se detectaron concentraciones similares a las encontradas en los últimos puntos de muestreo.

Figura 4.14 Variación de Fósforo en los diferentes puntos de muestreo y en los tres periodos de muestreo.

Una tendencia similar pero más variable se presentó en el muestreo de verano y nuevamente los últimos puntos de muestreo se excedieron considerablemente.

Si se observa con detenimiento la Figura 4.14 en general, se nota un patrón característico en los tres muestreos donde, de los puntos 1 al 5 la concentración de Fósforo se mantiene uniforme y oscila alrededor de los 0.003 mg/l (Cuadros A.3, A.4 y A.5) y el punto 14 muestra incremento considerable al igual que el punto 18 y también los últimos puntos de muestreo (24, 25 y 26) se incrementan excesivamente y de manera súbita.

Los notorios incrementos en los puntos 14 y 18 que se presentaron en los tres muestreos son atribuidos a una descarga aguas arriba de los puntos de muestreo y el por que en los tres últimos puntos de muestreo la concentración de Fósforo fue excesiva es por que al ser estos los últimos puntos, es en ellos donde se concentran más los contaminantes de aguas arriba.

La presencia de Fósforo en el arroyo del Pueblo se atribuye a los detergentes que provienen de las descargas de aguas residuales que alimentan el cause.

Tal sospecha se corrobora con lo mencionado por Hammer (1986), quienes citan que el Fósforo en las aguas residuales proviene de las aguas sanitarias (30 a 50 por ciento) y de los detergentes domésticos (70 a 50 por ciento).

Lo anterior lo ratifica Dunne and Luna (1998), que mencionan que una fuente importante de Fósforo a los causes, es el agua residual y afirma que más de la mitad es aportado por los detergentes.

Nitratos

En la Figura 4.15 se presentan los resultados de los Nitratos en el estudio; como se observa en dicha Figura durante el invierno en la mayoría de los puntos no se excedió la concentración de 15 mg/l pero de los puntos 18 al 23 la concentración de Nitratos se excedió hasta alcanzar más de 40 mg/l.

Figura 4.15 Variación de Nitratos en los diferentes puntos de muestreo durante las tres estaciones de muestreo.

En el muestreo de primavera se presentó un comportamiento muy similar al muestreo de invierno, pero en esta ocasión los puntos que resaltaron fueron del 20 al 23 alcanzando concentraciones de hasta 30 mg/l.

El patrón que se presentó en el muestreo de primavera fue el mismo que se presentó en el muestreo de verano.

Plomo

La concentración de Plomo en los puntos de muestreo de la estación de muestreo de invierno, no alcanzó a sobrepasar los 0.07 mg/l y en algunos puntos no se detectó concentración alguna

En los muestreos de primavera y verano no se detectó concentración alguna de plomo.

Una posible causa de la detección de Plomo en las muestras del muestreo de invierno es la contaminación de las muestras o de los materiales, así como la variabilidad del espectrofotómetro por la concentración tan baja del elemento. También, simplemente no hubo presencia de Plomo en los dos últimos muestreos.

Cobre

Para el muestreo de invierno la variación del Cobre osciló entre 0 y 0.03 mg/l.

En el muestreo de primavera no se detectó concentración de Cobre y para el muestreo de verano solamente en el punto 26 se encontró una concentración de 0.03 mg/l.

La enorme variación entre muestreo y muestreo se atribuye a la variabilidad del espectrofotómetro (ruido electrónico) al detectar tan bajas concentraciones.

Zinc

La Figura 4.16 presenta la variación del Zinc en las distintas estaciones de muestreo. Para el muestreo de invierno se encontró un rango de variación de 0.0 a 0.11 mg/l, al observar con detenimiento dicha Figura se encuentra que de los puntos 1 al 23 la concentración de Zinc osciló alrededor de los 0.02 mg/l y en los puntos 24, 25 y 26 se excede tal concentración por más de 4 veces.

Figura 4.16 Variación del Zinc en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo.

En general para el muestreo de primavera se observa una cierta uniformidad en los primeros puntos (1 al 12) que no excede los 0.03 mg/l de Zinc, esta se rompe en el punto 13 y aparecen notables incrementos en los puntos 14, 15, 18 y 25.

La variabilidad de la concentración de Zinc en el muestreo de verano fue muy similar a la del muestreo de primavera del punto 10 en adelante se presentaron incrementos considerables en los puntos 10, 14 y 26.

Fierro

En la Figura 4.17 se presenta la variabilidad de la concentración de Fierro en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo.

En el muestreo de invierno, solamente en los dos primeros puntos y en los tres últimos se registró cierta concentración de Fierro y en los últimos puntos de detectaron las concentraciones más altas.

En el muestreo de primavera la variabilidad fue muy marcada, se nota (Figura 4.17) que en general, hasta el punto 12 la concentración de Fierro fue menor a la que se detectó en el resto de los puntos de muestreo y se establecen incrementos considerables en los puntos 8, 13, 14 y 16.

Figura 4.17 Variación del Fierro en los diferentes puntos de muestreo y en las distintas estaciones de muestreo.

Para el muestreo de verano la variabilidad fue un poco menor a tal grado que en la mayor parte de los puntos no se excedió los 0.3 mg/l y solamente se sobrepasó esta concentración en el punto 18 sobrepasando los 0.4 mg/l.

La presencia de los metales tales como el Plomo, Cobre, Fierro y Zinc en el cause pueden provenir de la degradación de la gran cantidad y variedad de basura que se arroja al arroyo del Pueblo.

Dunne and Luna (1998) documentaron que Dethier y Emmet (1975) encontraron que los metales tales como el Fierro, Zinc, Plomo, Molibdeno y Cobre son liberados en pequeñas cantidades por el interperismo de las rocas.

En los parámetros que anteriormente se describieron para cada estación de muestreo se encuentra un patrón característico que prevaleció en la mayoría de los muestreos. Del punto 14 en adelante los valores fueron más altos en comparación a los primeros puntos de muestreos (1 al 13) y la concentración máxima casi siempre se detectó en o después del punto 14.

Este comportamiento se puede explicar de la siguiente manera: conforme el cause avanza a través de la ciudad es alimentado por las diferentes descargas de aguas residuales crudas, esto se asume que pasa a lo largo del arroyo por lo que los contaminantes de aguas arriba se concentran aguas abajo y así sucesivamente.

Siguiendo este recorrido, llega un momento dado donde las propias características del cause (caudal, velocidad, tirante hidráulico, etc) dan lugar a sitios propicios donde ciertos contaminantes se concentran considerablemente. El por que a partir del punto 14 hubo un notable incremento se presume que es consecuencia de una descarga aguas residuales arriba del punto de muestreo pero al observar con detenimiento la Figura donde se ubican los puntos de muestreo se tiene que entre el punto 13 y 14 hay una distancia considerable, que se dejó por que la accesibilidad a un punto factible era extremadamente difícil.

Variación entre muestreos

A continuación se presenta en el Cuadro 4.1 algunas medidas estadísticas que describen las diferencias entre muestreo y muestreo tomando en cuenta el valor mínimo, valor máximo, promedio y desviación estándar. Este Cuadro exhibe una recapitulación de lo encontrado en este estudio; y como se puede observar la variabilidad entre muestreos no fue muy marcada.

Tomando en cuenta las concentraciones promedio de cada estación de muestreo se percibe un comportamiento sobresaliente de los Bicarbonatos y Demanda Química de Oxígeno en el muestreo de invierno, y del Sodio en el muestreo de primavera.

Así mismo se observa que la relación de ST y STD es desproporcional, ya que el promedio de STD excede el de ST e incluso para un mismo punto la concentración de STD es mayor (Cuadros A.3, A.4 y A.5).

Tal desproporción es atribuida al error que condiciona al aparato donde se determinó los STD.

También en dicha Figura se distingue que las concentraciones promedio y valores máximos de metales, fueron superiores en el muestreo de primavera, así como que el rango de los parámetros se manifestó más amplio en el muestreo de invierno.

Cuadro 4.1 Cuadro de concentrado mostrando el valor mínimo, máximo, promedio y desviación estándar de cada parámetro determinado durante los periodos de muestreo, tomando en cuenta los puntos 1 al 25.

PARÁMETRO	VALOR MÍNIMO			VALOR MÁXIMO			PROMEDIO			DESVIACIÓN ESTANDAR		
	INV	PRI	VER	INV	PRI	VER	INV	PRI	VER	INV	PRI	VER
T ° C	--	16	21	--	30	28	--	24.32	25.12	--	3.24	1.76
pH	6.8	6.2	5.9	8.0	7.3	6.7	7.41	6.61	6.27	0.3655	0.2748	0.2087
C.E. (ds/m)	0.6	0.45	1	2.6	2.3	2.4	1.57	1.38	1.53	0.6438	0.5670	0.3902
S.T. (mg/l)	350	210	564	1742	1794	2300	912.64	931.2	965.36	414.41	454.34	388.20
S.T.D. (mg/l)	--	283	656	--	1780	1700	--	1060.28	1164.92	--	512.96	346.33
Cl ⁻ (mg/l)	39.35	41.01	54.68	118.05	177.68	164.03	73.97	113.48	112.11	16.88	40.10	39.17
CO ₃ (mg/l)	27.11	7.98	7.98	88.11	95.73	55.84	58.28	45.94	32.51	16.48	25.67	12.55
HCO ₃ (mg/l)	0.0	8.11	40.55	785.54	186.54	235.19	216.53	62.28	89.20	217.35	41.60	40.27
DQO (mg de O ₂ /l)	40.77	1.57	0.0	88.95	27.26	14.27	55.34	10.14	6.22	13.63	7.58	4.99
FÓSFORO (mg/l)	0.0038	0.0036	0.0035	0.154	0.166	0.142	0.0212	0.0376	0.0414	0.0401	0.0516	0.0464
NITRATOS (mg/l)	0.0	0.0	4.66	41.89	30.07	14.92	9.60	6.98	8.14	11.03	9.26	2.82

Continuación de Cuadro 4.1.

PARÁMETRO mg/l	VALOR MÍNIMO			VALOR MÁXIMO			PROMEDIO			DESVIACIÓN ESTANDAR		
	INV	PRI	VER	INV	PRI	VER	INV	PRI	VER	INV	PRI	VER
Magnesio	15	10	14	78	82	60	42.36	40.16	35.60	18.24	21.68	11.38
Potasio	2.2	6	12	55	94	74	10.91	48.72	40.00	13.53	27.77	16.04
Calcio	50	144	96	260	424	332	143.48	272.48	224.64	60.99	84.93	66.97
Sodio	150	220	140	405	1000	460	246.08	542.40	250.40	67.33	273.51	87.58
Plomo	0.0	0.0	0.0	0.07	0.0	0.0	0.020	0.0	0.0	0.021	0.0	0.0
Cobre	0.0	0.0	0.0	0.03	0.0	0.0	0.007	0.0	0.0	0.009	0.0	0.0
Zinc	0.0	0.01	0.01	0.11	0.07	0.07	0.017	0.033	0.033	0.025	0.017	0.013
Fierro	0.0	0.07	0.07	0.31	0.83	0.48	0.037	0.353	0.186	0.09	0.215	0.080

El Cuadro 4.2 simplifica una prueba de heterogeneidad de varianza con dos niveles de significancia de algunos de los parámetros de mayor consideración. La finalidad de tal prueba es corroborar la variabilidad entre muestreos de los parámetros; se observa que solamente en el caso de Fósforo se admite homogeneidad de varianza.

Se hace hincapié que dicha prueba se ajustó a los datos que se tenían, por lo que para estudios posteriores se cree necesario una prueba más contundente.

Cuadro 4.2 Se muestra la diferencia de los parámetros entre muestreos mediante una prueba de heterogeneidad de varianza.

Parámetro	Estación de Muestreo	Varianza	F Calculada	F Tabulada α 0.05	F Tabulada α 0.01
pH	Invierno	0.1336	3.06	1.98	2.66
	Primavera	0.0755			
	Verano	0.0436			
CE	Invierno	0.4145	2.72		
	Primavera	0.3215			
	Verano	0.1523			
Fósforo	Invierno	0.0016	1.68		
	Primavera	0.0027			
	Verano	0.0022			
Nitratos	Invierno	121.66	15.3		
	Primavera	85.75			
	Verano	7.95			
Sodio	Invierno	4533.33	16.50		
	Primavera	74807.72			
	Verano	7670.26			

Por

último al comparar los promedios obtenidos en los diferentes muestreos (invierno, primavera y verano) con los promedios mensuales y diarios (PM Y PD) de los límites máximos permisibles para contaminantes básicos y metales pesados en ríos de uso público urbano establecidos en la Norma

oficial Mexicana NOM-001ECOL-1996, se tiene que en ningún caso se supera lo establecido e incluso las concentraciones detectadas están muy por debajo de los límites máximos permisibles

Cabe recordar que los promedios establecidos en la NOM-001-ECOL-1996 son calculados meticulosamente tomando en consideración la frecuencia, hora, gasto o algunos otros factores de tal manera que al comparar lo establecido con lo que se obtuvo en este trabajo resulte riesgoso asumir tal comparación como factible.

Ahora bien, tal confrontación de resultados se hace con la finalidad de dar soporte a este estudio.

CONCLUSIONES

En base en los resultados obtenidos se concluye que:

De acuerdo con los resultados obtenidos en los muestreos de invierno, primavera y verano la variación de los parámetros a lo largo del tramo del arroyo del Pueblo que fue objeto de estudio se manifestó en un patrón característico que prevaleció en gran parte de los indicadores que fueron tomados en cuenta.

La variación entre estación y estación no fue notoria, las concentraciones promedio denotan una similitud entre muestreos y solamente algunos parámetros resaltaron considerablemente en cierta época, como fue el caso de los Bicarbonatos y la Demanda Química de Oxígeno en el muestreo de invierno y del Sodio en el muestreo de primavera.

Por lo tanto la hipótesis de que la concentración de contaminantes varía a lo largo del cause y en la estación del año se acepta.

Respecto al comportamiento que presentaron la mayoría de los parámetros a lo largo del cause se cree que tal observación describe claramente el impacto que tiene la mancha urbana en el arroyo del Pueblo.

Dentro de los parámetros que se determinaron algunas metodologías no se siguieron paso a paso pero se procuró conservar el principio y tomando en cuenta el error sistemático, los resultados que se obtuvieron muestran las diferencias de circunstancias de cada punto de muestreo.

A lo largo de los estudios de campo se encontraron ciertas singularidades que ponen en manifiesto que es necesario profundizar en trabajos que se realizan más adelante.

Se sugiere seguir un patrón de muestreo en base a la hora del día y el día de la semana y altamente se recomienda recolectar muestras conforme a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

Afortunadamente no se detectaron concentraciones tóxicas pero cabe destacar que este estudio excluyó los estudios microbiológicos que juegan un rol muy importante en la evaluación de aguas residuales desde el punto de vista sanitario.

Se recomienda antes que nada monitorear el caudal y tomar en cuenta la red de drenaje que converge en el arroyo del Pueblo, detectar las descargas de aguas residuales que se vierten al cause y como en la ciudad de Saltillo el agua de suministro se distribuye por sectores, se tendría que tomar en cuenta esta y las anteriores condiciones en la toma de muestras.

Si bien los parámetros que fueron tomados en cuenta en la realización de este trabajo no describen con detalle el problema de la contaminación del arroyo del Pueblo, es la pauta para investigaciones futuras.

Los análisis se realizaron en el laboratorio de Química de Suelos aún así, se logro evaluar parámetros que no se determinaban en el laboratorio implementando nuevas técnicas de análisis de agua sentando así las bases para estudios posteriores.

LITERATURA CITADA

- Arne, Vesilind; J. Jeffery, Price; F. Weiner, Ruth. 1990. **Environmental Pollution and Control**. Third edition. Butterworth-Heinemann.
- Blásquez Borrego, Ana Laura. 1975. **Contaminación Ambiental con Mercurio**. Tesis Profesional. Saltillo, Coahuila.
- Cuaderno Estadístico Municipal. **Saltillo**. *Estado de Coahuila*. Edición 1993. Impreso en México. INEGI.
- Clarke, Robin. 1993. **Water the international crisis**. The MIT Press Cambridge. Massachusetts.
- Cruz Martínez, María del Carmen. 1975. **Contaminación por plomo**. Tesis Profesional. Saltillo, Coahuila.
- Dunne, Thomas and Luna B., Leopold. 1998. **Water in Environmental Planning**. Fifteenth printing. W.H. Freeman and Company. New York.
- El Gran Diccionario del Medio Ambiente y de la Contaminación** 1996. Mundi-Prensa Coediciones. Seoáñez Calvo, Mariano. Madrid, España.
- Encyclopedia of Environmental Science**. McGraw-Hill Book Company. Second edition. Sybil P. Parker Editor in chief. Philippines, 1980.
- Garza Mona, Dora Alicia. 2001. **Contaminación del Agua con Metales Pesados**. Monografía. Saltillo, Coahuila.
- Hammer, Mark. 1986. **Water and Wastewater Technology**. Second edition. Prentice Hall, Englewood cliffs. New Jersey.
- Islas Rivera, Socorro. 1993. **Respuesta y Calidad de la Lechuga (*Lactuca sativa L.*) al Riego con Aguas Negras**. Tesis Profesional. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Lewin, Valentine. **Phosphorus in Fresh Water and the Marine Environment**. Water Research. The Journal of the International Association on

Water Pollution Research. Volume 7 numbers 1-4 1973. 11-13 April 1972. University Collage London. Pergaman Press.

Maruecos, Luis; Nougé, Santiago; Nolla, Joan. **Toxicología Clínica**. Springer-Verlas, Ibérica.

Mendoza Venegas, Fernando; Morales Archundia, Sergio; Zavala Martínez, J. Luis. 1977. **Contaminación de las Aguas del Río Coatzacoalcos y sus Posibles Soluciones**. Tesis Profesional. México.

Metcalf and Eddy. 1994. **Ingeniería Sanitaria tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales**. Segunda edición. Traducción de Juan de Dios Trillo M. Editorial Labor, S.A. México.

Métodos Estándar para el Examen de “Aguas y Aguas de Desecho”. *Incluyendo Sedimentos Véntales y Lodos*. Editado Conjuntamente por: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Ed. Interamericana S.A.; Undécima Edición, 1963.

Múgica Álvarez, Violeta; Figueroa Lara, Jesús. 1996. **Contaminación Ambiental causas y control**. Primera edición. Universidad Autónoma Metropolitana. México.

Nebel, Bernard and T. Wright, Richard. 1999. **Ciencias Ambientales ecología y desarrollo sostenible**. Sexta edición. Prentice Hall-Pearson Hispanoamericana. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-AA-3-1980 Aguas Residuales.- Muestreo.

Norma Mexicana NMX-AA-007-1997 **Determinación de la Temperatura en Aguas Naturales y Residuales.**

Norma Mexicana NMX-AA-008-1997 Agua. - **Determinación del pH.**

Norma Mexicana NMX-AA-029-1997 ANALISIS DE AGUAS.- **Determinación de Fósforo Total en Aguas Naturales y Residuales.**

Norma Mexicana NMX-AA-030-1997 Análisis De Agua.- **Demanda Química de Oxígeno en Aguas Naturales y Residuales.**

Norma Mexicana NMX-AA-073-1997 Análisis De Aguas.- **Determinación de Cloruros Totales en Aguas Naturales y Residuales.**

Norma Mexicana NMX-AA-079-1997 Análisis De Aguas.- **Determinación de**

Nitratos en Aguas Naturales, Potables y Residuales.

Norma Mexicana NMX-AA-093-1997 Análisis De Agua- **Determinación de la Conductividad Electrolítica.**

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, **Que Establece los Limites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales.**

Proyecto De Norma Mexicana PROY-NMX-AA-051-1999-SCFI Análisis de Agua.- **Determinación de Metales por Absorción Atómica en Aguas Naturales, Potables y Residuales.**

Portilla Gutiérrez, Enrique; Alejandro Zavala Hurtado. 1990. **Oikus. Un diccionario de Ecología.** Primera edición, México, 1990.

Seoánez Calvo, Mariano. 1990. **Ingeniería del Medio Ambiente aplicada al medio natural continental.** Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

Seoánez Calvo, Mariano. 1997. **Ingeniería del Medio Ambiente Aplicada Casos Prácticos.** Ediciones Mundi-Prensa. España.

Tyler G., Miller. 1994. **Ecología y Medio Ambiente.** Séptima Edición. Grupo editorial Iberoamericana S.A. de C.V. México.

DIRECCIONES DE CONSULTA

edafologia.ugr.es/donana/casoaznal.html

members.triod.com/arturobola/content.htm

www.atsdr.cdc.gov/tfacts46.html

www.cepis.org.pe

www.el-mundo.es/diario/busca.html

www.gencat.es/medioamb/cdmale-pubelac.htm

www.gooscopio.org/medioambiente/temas/tema9/9tipos.htm#composicion

www.laneta.apc.org/emis/noticias/toxica99.htm

www.monografias.com/trabajos5/anagua/anagua.shtml

www1.ceit.es/Asignaturas/ecologia/Hipertexto/11CAgua/100CoAcu.htm

APÉNDICE

Cuadro A.1 Plomo contenido en aguas continentales.

Medio	Concentración en mg/l
Acuíferos	0.009-0.03 (Kehoe, 1933) 0.001-0.06 (Calvery, 1942)
Aguas fluviales	0.004-0.02 (Kehoe, 1944) 0.001-0.004 (Calvery, 1942)
Aguas de escorrentía superficial	0.001-0.04 ppm (Kehoe, 1944) 0.002 (Bagehi, 1940)
Aguas potables	0.009-0.9 (Kahoe, 1933) 0.0015 (Bagehi, 1940)

Fuente: Seoáñez, 1997.

Cuadro A.2 Plantas de tratamiento de aguas residuales industrial y municipal en México: número de plantas y capacidad de tratamiento diseñada, 1991-1998.

Año	Número		Capacidad de diseño (m ³ /seg)	
	Industriales	Municipales	Industriales	Municipales
1991	630	361	10.625	25.100
1994	1 151	666	21.520	42.788
1995	nd	680	nd	54.638
1996	1 255	793	22.725	54.765
1997	1 255	821	22.725	61.653
1998	1 354	914	29.322	63.151

nd: No disponible

Fuentes: Semarnat, Comisión Nacional del Agua, 1999.

Cuadro A.3 Resultados del primer muestreo, de invierno.

Punto de muestreo	T°C	pH	Conductividad Eléctrica ds/m	Sólidos Totales mg/l	Carbonatos mg/l	Bicarbonatos mg/l	Cloruros mg/l	Demanda Química de Oxígeno mg O ₂ /l	Fósforo mg/l	Nitratos mg/l
1	19	6.8	1.4	786	47.44	234.29	65.58	40.77	0.0041	8.43
2	17	7.1	1.2	350	27.11	259.17	65.58	44.48	0.0038	1.64
3	20	7.6	0.6	420	61.00	0.0	78.70	46.13	0.0044	3.38
4	19	7.6	0.9	434	67.78	0.0	65.58	49.68	0.0039	6.36
5	16	7.8	0.8	578	61.00	0.0	78.70	55.59	0.0049	5.73
6	16	7.8	1.0	610	67.78	124.03	91.82	48.18	0.0040	3.73
7	16	7.8	0.8	404	81.33	0.0	78.70	48.18	0.0042	0.36
8	16	7.8	1.0	662	47.44	55.13	52.47	44.48	0.0050	5.29
9	16	7.8	0.9	586	40.67	96.47	65.58	44.48	0.0049	0.55
10	18	8.0	1.0	470	67.78	0.0	39.35	55.59	0.0044	0.00
11	15	7.2	1.2	652	54.22	96.47	65.58	59.3	0.0049	11.00
12	--	7.4	1.2	772	61.00	68.91	65.58	63.0	0.0083	17.80
13	--	7.7	1.2	530	54.22	110.25	78.70	51.89	0.0049	3.28
14	--	7.2	2.4	1388	88.11	206.72	78.70	63.0	0.0336	7.77
15	--	7.1	2.6	1742	81.33	220.50	118.05	55.59	0.0204	6.98
16	--	8.0	1.6	970	54.22	96.47	78.70	40.77	0.0053	0.11
17	--	7.6	1.7	1022	61.00	137.81	104.93	51.89	0.0080	0.00
18	--	7.1	2.2	1332	54.22	413.44	52.47	78.07	0.0478	31.03
19	--	7.2	2.2	1478	88.11	413.44	78.70	49.68	0.0134	41.89
20	--	7.0	2.4	1344	54.22	385.88	78.70	44.48	0.0053	17.29
21	--	7.4	2.0	1280	33.89	385.88	78.70	66.72	0.0256	24.85
22	--	7.0	2.3	1226	47.44	330.76	65.58	44.48	0.0050	18.99
23	--	7.4	2.4	1172	67.78	220.50	52.47	63.0	0.0051	21.72
24	22	7.0	2.0	1442	61.00	771.76	78.70	85.25	0.1547	1.06
25	22	6.9	2.3	1166	27.11	785.54	91.82	88.95	0.1445	0.76
26	22	6.6	2.0	1250	33.89	661.51	65.58	78.07	0.2049	0.05

Cuadro A.4 Resultados del segundo muestreo, de primavera.

Punto de muestreo	T°C	pH	Conductividad Eléctrica ds/m	Sólidos Totales mg/l	Sólidos Totales Disueltos mg/l	Carbonatos mg/l	Bicarbonatos mg/l	Cloruros mg/l	Demanda Química de Oxígeno mg O ₂ /l	Fósforo mg/l	Nitratos mg/l
1	20	6.4	0.95	588	645	47.86	32.44	54.66	6.29	0.0039	6.30
2	20	6.6	1.1	642	786	55.84	32.44	82.03	1.57	0.0040	3.60
3	24	6.8	0.95	588	628	47.86	32.44	75.19	3.15	0.0036	11.90
4	24	6.8	1.1	576	758	31.91	81.10	95.68	1.57	0.0041	11.74
5	23	6.8	1.1	690	786	55.84	32.44	88.84	3.15	0.0049	11.39
6	21	6.8	0.85	592	576	31.91	32.44	68.35	3.15	0.0062	6.21
7	20	6.6	0.6	312	376	7.98	105.43	57.93	6.29	0.0052	3.78
8	16	6.7	0.45	1794	283	23.93	8.11	61.51	7.86	0.0055	6.03
9	23	6.2	0.8	556	530	15.95	56.77	75.19	4.72	0.0115	1.25
10	23	6.4	0.6	210	368	31.91	81.10	41.02	12.58	0.0071	0.00
11	24	6.2	1.2	522	860	7.98	113.54	129.85	9.44	0.0408	0.00
12	24	6.5	1.0	458	679	15.95	89.21	109.36	6.29	0.0157	1.52
13	25	6.6	0.95	520	652	7.98	56.77	129.85	4.72	0.0214	1.52
14	29	7.0	1.6	790	1280	63.82	48.66	143.50	6.41	0.0806	3.12
15	29	6.9	1.6	992	1270	47.86	64.88	157.19	16.04	0.0672	0.00
16	30	7.3	1.6	1018	1210	63.82	48.66	114.01	12.83	0.0092	3.25
17	25	6.9	1.8	1240	1460	63.82	32.44	126.41	8.02	0.0094	1.37
18	27	6.4	1.9	1376	1630	95.73	32.44	143.50	20.85	0.1363	0.00
19	27	6.6	1.9	1358	1570	63.82	113.54	143.50	22.45	0.1403	0.00
20	28	6.6	2.2	1324	1690	63.82	16.22	146.94	9.62	0.0049	30.07
21	26	6.5	2.1	1166	1780	79.77	48.66	157.19	14.43	0.0315	16.33
22	26	6.6	2.0	1470	1740	79.77	32.44	143.50	12.82	0.0135	26.77
23	24	6.8	2.3	1542	1750	79.77	48.66	153.78	9.62	0.0122	28.53
24	25	6.2	2.0	1410	1620	15.95	186.54	160.59	22.45	0.1344	0.00
25	25	6.2	2.0	1546	1580	47.86	129.77	177.68	27.26	0.1666	0.00
26	26	6.2	1.9	1346	1510	31.91	129.77	174.27	25.65	0.1889	0.00

Cuadro A.5 Resultados del tercer muestreo, de verano.

Punto de muestreo	T°C	pH	Conductividad Eléctrica ds/m	Sólidos Totales mg/l	Sólidos Totales Disueltos mg/l	Carbonatos mg/l	Bicarbonatos mg/l	Cloruros mg/l	Demanda Química de Oxígeno mg O ₂ /l	Fósforo mg/l	Nitratos mg/l
1	21	6.2	1.4	845	957	47.05	81.10	75.18	4.33	0.0036	6.57
2	26	6.3	1.2	784	938	55.84	40.55	68.35	14.07	0.0036	7.36
3	26	6.3	1.0	882	656	39.89	121.66	54.68	2.16	0.0036	9.33
4	26	6.4	1.1	624	761	39.89	72.99	61.51	8.66	0.0036	8.20
5	24	6.6	1.1	728	787	31.91	89.21	64.93	14.07	0.0036	9.19
6	21	6.5	1.2	882	857	47.86	48.66	71.76	11.07	0.0124	6.70
7	23	6.4	1.2	672	899	39.89	89.21	75.18	0.0	0.0245	6.66
8	23	6.3	1.2	728	919	31.91	89.21	75.18	4.85	0.0278	7.81
9	24	6.6	1.2	716	871	39.89	72.99	75.18	0.0	0.0156	8.64
10	25	6.4	1.5	840	1150	31.91	97.32	129.86	14.27	0.0865	4.66
11	25	6.2	1.5	822	1140	47.86	64.88	123.03	12.14	0.0927	6.21
12	24	6.2	1.4	750	1070	23.93	97.32	123.03	5.66	0.0691	6.36
13	25	6.2	1.5	818	1100	39.89	81.10	116.19	12.95	0.0808	6.36
14	27	6.5	1.6	804	1180	15.95	162.21	146.95	3.68	0.1424	9.29
15	27	6.3	1.6	848	1190	23.93	121.35	164.03	9.81	0.0549	5.49
16	28	6.7	1.3	796	848	7.98	56.77	112.77	1.23	0.0049	6.73
17	27	6.2	1.1	564	695	15.95	48.66	58.09	2.45	0.0062	7.42
18	26	6.0	2.0	1124	1610	23.93	235.20	150.36	7.36	0.1112	6.98
19	27	6.2	1.8	1092	1420	31.91	97.32	143.53	7.36	0.0287	6.51
20	26	6.1	2.0	1296	1560	31.91	81.10	157.19	0.0	0.0112	11.50
21	26	6.2	2.4	2300	1700	23.93	72.99	157.78	1.23	0.0037	14.87
22	25	6.0	2.0	1624	1680	39.89	64.88	143.53	0.0	0.0057	14.92
23	26	6.3	2.1	1560	1660	47.86	56.77	143.53	1.23	0.0049	13.85
24	25	5.9	2.0	773	1610	15.95	97.32	150.36	9.81	0.1424	6.03
25	25	5.9	1.9	1262	1390	15.95	89.21	160.62	7.35	0.0919	6.05
26	27	5.7	2.2	1400	1640	0.00	113.54	225.55	22.07	0.1754	5.74

Tabla A.6 Comportamiento de los metales en los diferentes puntos de muestreo durante los periodos de muestreo. Determinación por espectrofotometría de absorción atómica (absorción directa).

mg/l																								
Punto de muestreo	Magnesio			Potasio			Calcio			Sodio			Plomo			Cobre			Zinc			Fierro		
	INV	PRI	VER	INV	PRI	VER	INV	PRI	VER	INV	PRI	VER	INV	PRI	VER	INV	PRI	VER	INV	PRI	VER	INV	PRI	VER
1	18	34	30	55	74	42	215	340	230	160	300	160	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.04	0.02	0.03	0.18	0.07	0.20
2	15	34	40	20	28	60	148	248	266	150	300	200	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.02	0.02	0.01	0.16	0.11	0.10
3	17	14	14	2.2	18	34	50	144	134	191	260	140	0.01	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.01	0.02	0.0	0.10	0.15
4	24	26	46	2.5	38	26	50	220	222	185	300	140	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.02	0.03	0.0	0.08	0.17
5	29	50	36	3.7	94	30	100	384	238	195	380	160	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.01	0.02	0.03	0.0	0.13	0.11
6	38	34	38	3.5	16	64	260	324	250	198	260	240	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.01	0.03	0.03	0.0	0.15	0.18
7	30	12	24	3.4	36	18	80	196	106	194	260	180	0.02	0.0	0.0	0.02	0.0	0.00	0.01	0.03	0.03	0.0	0.36	0.21
8	32	10	32	3.5	48	42	100	170	254	189	260	180	0.03	0.0	0.0	0.03	0.0	0.00	0.00	0.03	0.03	0.0	0.70	0.16
9	31	10	48	3.6	20	46	80	168	266	192	260	180	0.02	0.0	0.0	0.02	0.0	0.00	0.00	0.02	0.02	0.0	0.29	0.13
10	30	18	22	4.4	8	14	80	196	100	196	220	200	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.02	0.06	0.0	0.45	0.20
11	30	34	36	6.0	46	48	100	280	244	219	420	220	0.02	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.02	0.04	0.0	0.14	0.17
12	31	18	34	5.6	24	52	110	166	216	224	320	220	0.00	0.0	0.0	0.01	0.0	0.00	0.00	0.03	0.04	0.0	0.12	0.16
13	32	20	32	4.7	58	56	110	220	262	200	420	300	0.02	0.0	0.0	0.02	0.0	0.00	0.00	0.04	0.05	0.0	0.61	0.22
14	41	48	32	29.6	74	16	110	328	232	363	920	280	0.03	0.0	0.0	0.02	0.0	0.00	0.01	0.06	0.07	0.0	0.72	0.19
15	50	34	26	30	30	36	140	150	160	405	560	260	0.01	0.0	0.0	0.01	0.0	0.00	0.01	0.06	0.05	0.0	0.44	0.27
16	54	44	18	9.4	70	12	110	208	96	239	600	180	0.02	0.0	0.0	0.01	0.0	0.00	0.00	0.05	0.03	0.0	0.83	0.23
17	67	70	34	5.6	62	52	170	272	272	247	700	180	0.03	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.02	0.02	0.03	0.0	0.37	0.21
18	70	58	40	10	92	56	170	336	226	296	740	380	0.06	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.02	0.07	0.04	0.0	0.46	0.48
19	59	70	30	8.5	76	40	200	414	130	286	820	300	0.04	0.0	0.0	0.01	0.0	0.00	0.02	0.04	0.02	0.0	0.41	0.30
20	78	82	58	6.1	62	44	200	424	294	300	980	360	0.02	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.02	0.02	0.02	0.0	0.36	0.14
21	64	66	60	2.2	66	34	150	302	330	289	840	360	0.04	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.02	0.04	0.02	0.0	0.34	0.15
22	63	60	54	4.3	6	30	210	336	332	294	840	360	0.07	0.0	0.0	0.01	0.0	0.00	0.02	0.02	0.03	0.0	0.25	0.07
23	62	72	42	4.1	14	30	170	360	240	290	880	340	0.07	0.0	0.0	0.02	0.0	0.00	0.02	0.02	0.02	0.0	0.32	0.10
24	40	50	30	5	66	74	251	338	236	350	720	460	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.11	0.05	0.04	0.31	0.53	0.17
25	54	36	34	40	92	44	223	288	280	300	1000	280	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.08	0.07	0.04	0.28	0.49	0.20
26	66	132	48	10	12	12	161	350	500	310	920	340	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.03	0.08	0.02	0.07	0.32	0.40	0.26

