

ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RIO SAN PEDRO

Biól. Jorge Martínez Martínez¹
Programa de Investigaciones Biológicas (PIB 94-2)



RESUMEN

Las aguas superficiales del Río San Pedro fueron muestreadas durante un año para observar sus condiciones en cuanto a la calidad del agua, mediante la determinación de varios parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Un gradiente en el muestreo fue establecido por la selección de los sitios desde áreas rurales hasta áreas urbanas, finalizando en los efluentes tratados por la Planta de Tratamiento del Municipio de Aguascalientes. Los resultados indican un alto grado de contaminación en los sitios urbanos con mayor incidencia de asentamientos humanos. De las variables analizadas, las que muestran valores excesivamente elevados en estos sitios, son las cuentas de bacterias coliformes y las concentraciones de detergentes. El carácter temporal de las aguas incrementa la gravedad de la concentración de algunos contaminantes. Asimismo, es notable el grado de deterioro del medio físico en todo el trayecto de las aguas superficiales del río debido, principalmente, a las actividades extractivas de materiales para construcción, lo cual ha afectado grandemente a la biota acuática y a la vegetación marginal.

INTRODUCCION

El agua es el recurso más abundante sobre la tierra, cubre cerca del 71% del área de superficie del planeta. El volumen total de agua sobre el planeta es inmenso, cerca de 1,410 millones de km^3 . Extendidos sobre la superficie de la Tierra, formarían una capa de casi 3 mil metros de profundidad. Aproximadamente el 3% es agua dulce, pero casi el 87% de esa cantidad se encuentra en los glaciares o casquetes polares, en la atmósfera o en el suelo, o profundamente subterránea (Gross, 1986).

Globalmente, 3,240 km^3 de agua dulce son retirados y usados anualmente. De este total, el 69% es usado para la agricultura, el 23% para la industria, y el 8% para usos domésticos. No obstante, el uso del agua varía considerablemente alrededor del

mundo. En México, los gastos sectoriales están representados como sigue: el 86% en agricultura, el 8% en la industria y el 6% en usos domésticos. Aproximadamente, el 25% del agua agrícola retorna a los arroyos como agua residual. Los gastos industriales y domésticos se espera que incrementen más rápidamente que los retiros agrícolas en los años venideros, pero los gastos agrícolas aumentarán en términos absolutos.

Los gastos globales para propósitos industriales se estiman en 745 km^3 anualmente, o casi un cuarto del total de retiros del recurso. Casi 640 km^3 (86%) son descargados de regreso a los ríos y aguas costeras como aguas de desecho. Se espera que a finales de los 90's, los gastos industriales incrementen hasta 1,200 km^3 con un aumento global asociado en las aguas residuales industriales de casi 1,000 km^3 (World Resources 92-93, 1992).

Una cantidad relativamente pequeña del agua dulce —casi el 8% del total global— es retirada para requerimientos

¹ Profesor-Investigador. Depto. de Biología. Centro Básico.



domésticos y municipales; aproximadamente el 60% del agua usada para propósitos domésticos regresa a los ríos como agua residual.

Aunado al peligro cuantitativo sobre el recurso, se ciñe la amenaza cualitativa. La contaminación en el agua dulce es de tres tipos principales:

- * Por exceso de nutrientes provenientes de drenajes y erosión del suelo, que causa explosiones algales (blooms) que eventualmente disminuyen el contenido de oxígeno del agua.
- * Por patógenos a partir del drenaje, que diseminan enfermedades, y
- * Por metales pesados y compuestos orgánicos sintéticos de la industria, la minería y la agricultura, los cuales se bioacumulan en los organismos acuáticos.

En los países en desarrollo, las tendencias en la calidad del agua son difíciles de considerar por las deficiencias que conlleva la evolución de las fuentes de contaminación y el monitoreo de las aguas subterráneas y superficiales.

La calidad del agua se deteriora, especialmente alrededor de áreas urbanas. La urbanización influye grandemente la cantidad y la calidad del agua por la escorrentía y el drenaje. Las superficies impermeables como techos y calles de concreto y asfalto, reemplazan a los suelos permeables y a la vegetación, aumentando el volumen, la velocidad y la temperatura de la escorrentía urbana, reduciendo el flujo base de ríos durante los períodos secos, elevando la

temperatura de arroyos urbanos y colectando contaminantes de todo tipo (Odendaal, 1991).

Los drenajes inadecuadamente tratados derivados de asentamientos humanos introducen en las aguas superficiales, grandes cantidades de nutrientes, patógenos, sedimentos, materiales orgánicos, metales pesados y sustancias químicas tóxicas.

En los países industrializados, gran parte del drenaje generado en las áreas urbanas es colectado y tratado en varios grados antes de ser descargado a los ríos, lagos o aguas costeras. El tratamiento primario (físico) de aguas residuales y el secundario (biológico), pueden remover hasta el 35% y 85% de los contaminantes en la descarga, respectivamente; pero remueve solamente el 30% del fósforo, el 50% del nitrógeno y el 70% de la mayoría de los compuestos tóxicos (Odendaal, 1991; Azov, 1992). Sin embargo, sin un mantenimiento regular y una operación apropiada, las plantas de tratamiento de aguas residuales, operarán muy abajo de sus estándares intentados. (Miller, 1991).

Las aguas superficiales proveen habitats para la vida acuática, fuentes de agua potable y de irrigación; localidades para recreo, apreciación estética y navegación. La legislación en materia del recurso agua, establece la protección de las aguas superficiales como una prioridad nacional. El objetivo primordial es restaurar y mantener la integridad física, química y biológica de las aguas nacionales (Ley de Aguas Nacionales, 1992). Es prioritario el desarrollo y aplicación de métodos para medir los efectos de contaminantes sobre la

integridad fisicoquímica y biológica del agua. Es necesario, asimismo, desarrollar criterios sobre los efectos de contaminantes sobre la diversidad de la comunidad, la productividad, la estabilidad biológica y la eutroficación.

La selección de variables para cualquier estudio de evaluación de la calidad del agua, depende de los objetivos que se pretenden (Chapman, 1992). En el presente trabajo, los objetivos fueron:

- * Establecer un gradiente en el análisis de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas superficiales temporales del Río San Pedro.
- * Evaluar los efectos de los núcleos de asentamiento poblacional e industrial, las actividades agropecuarias, sobre la calidad de las aguas dentro del lecho del río a su paso desde áreas rurales a urbanas.
- * Evaluar parcialmente, la eficiencia del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, mediante el análisis de la descarga de las aguas tratadas que efluyen de ésta.

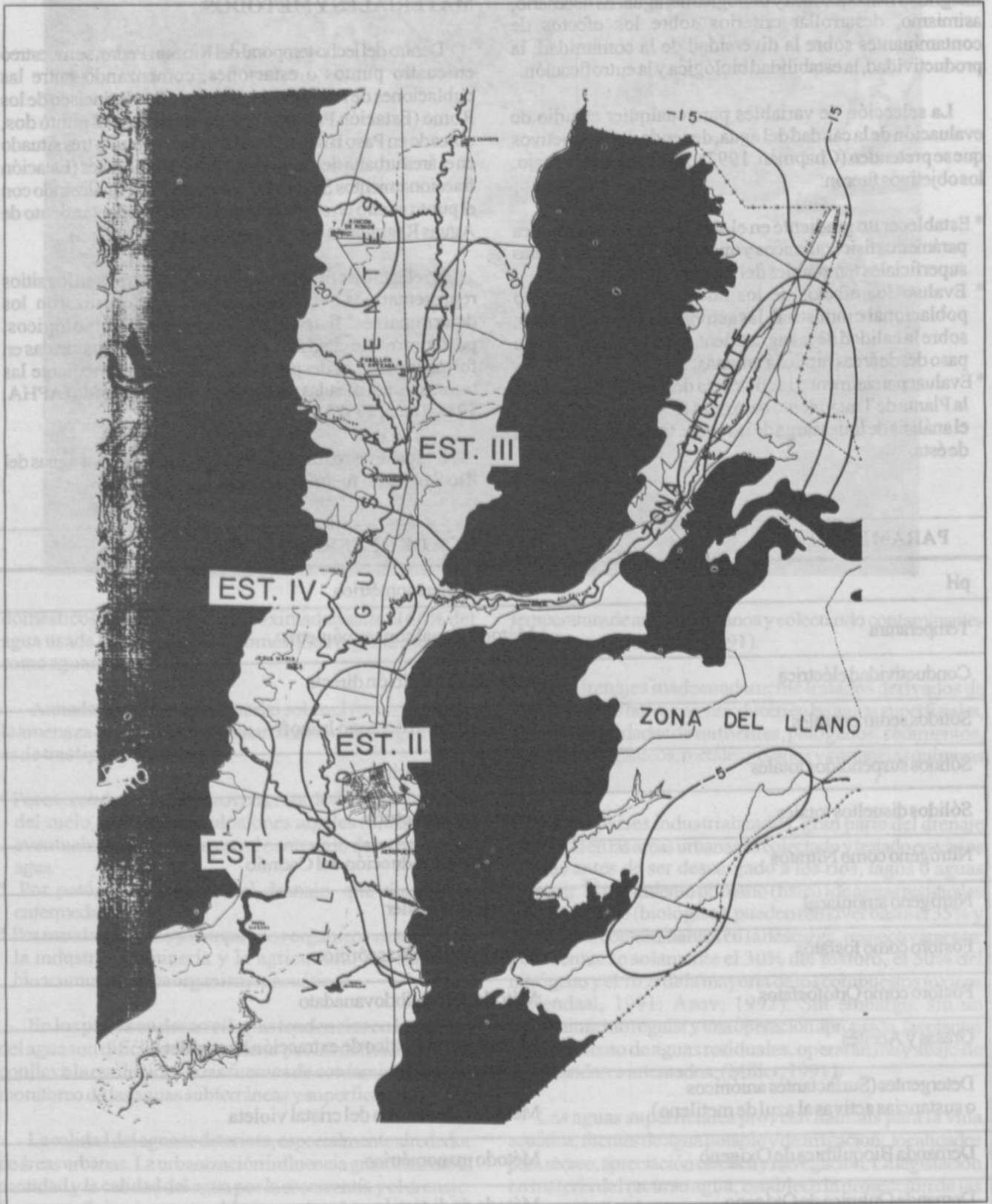
MATERIALES Y METODOS

Dentro del lecho temporal del Río San Pedro, se muestreó en cuatro puntos o estaciones, comenzando entre las poblaciones de Pabellón de Arteaga y San Francisco de los Romo (Estación Palomas) continuando con el punto dos, ubicado en Paso Blanco, Jesús María, y el punto tres situado en el área urbana del municipio de Aguascalientes (Estación fraccionamientos Sauces y Colinas del Río), finalizando con el punto cuatro en el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (ver área de estudio en el mapa).

Se efectuó un programa anual de muestreos en los sitios representativos preseleccionados, y se analizaron los determinantes físicos, químicos y microbiológicos, posteriormente citados. Las muestras fueron analizadas en forma inmediata después de su colección, mediante las técnicas especificadas para cada parámetro referido (APHA, 1981; Hach, 1992).

Los parámetros medidos en el monitoreo de las aguas del Río San Pedro fueron los siguientes:

PARAMETRO	TECNICA DE DETERMINACION
pH	Método potenciométrico
Temperatura	Método visual con termómetro
Conductividad eléctrica	Método de medición directa
Sólidos sedimentables	Método directo del cono Imhoff
Sólidos suspendidos totales	Método fotométrico
Sólidos disueltos totales	Método gravimétrico
Nitrógeno como Nitratos	Método de la reducción del Cadmio
Nitrógeno amoniacal	Método de Nessler
Fósforo como fosfatos	Método del ácido ascórbico
Fósforo como Ortofosfatos	Método del molibdo vanadato
Grasas y Aceites	Método gravimétrico de extracción de soxhlet
Detergentes (Surfactantes aniónicos o sustancias activas al azul de metileno)	Método fotométrico del cristal violeta
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Método manométrico
Demanda Química de Oxígeno	Método de digestión en reactor
Coliformes totales	Método del Número más Probable (técnica fermentación en tubos múltiples y procedimiento de prueba de confirmación de coliformes).



Estaciones de Muestreo

I. Planta de tratamiento II. Saucos III. Sn. Fco. IV. Paso Blanco

RESULTADOS OBTENIDOS

El monitoreo de aguas residuales es esencial para la implementación y operación exitosa de sistemas de recuperación de aguas. Los procedimientos rutinarios de monitoreo ayudan a mantener predeterminados los parámetros de calidad, y a localizar puntos vulnerables que requieran manejos especiales. El plan de monitoreo fue amplio e incluyó la selección de dos tipos de indicadores que se evaluaron anualmente. Los parámetros fueron (i) la química hídrica, y (ii) la calidad del habitat físico.

TEMPERATURA

El cauce del Río San Pedro muestra variaciones térmicas a todo lo largo, asociadas a las fluctuaciones climáticas normales. Estas variaciones ocurren estacionalmente y en períodos de 24 horas.

Las aguas superficiales del río tienen un rango de temperatura de 10.5°C a 30.9°C. Estas temperaturas fluctúan estacionalmente con mínimos durante el invierno o períodos húmedos (10.5 a 18.6°C) y máximos en el verano o períodos secos (27 a 31°C), particularmente en aguas someras, como es el caso de este río, cuyo cauce es muy reducido, intermitente y discontinuo, debido a la región semiárida en que se encuentra su mayor parte, y el consecuentemente bajo registro pluviométrico que se registra.

RESIDUOS Y SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

El término "sólidos" es ampliamente usado para la mayoría de compuestos que están presentes en aguas naturales, y permanecen en un estado sólido después de la evaporación (algunos compuestos orgánicos permanecen en estado líquido después que el agua se ha evaporado). Los sólidos suspendidos totales (SST) y los sólidos disueltos totales (SDT), corresponden al residuo no filtrable y filtrable, respectivamente.

Los valores de sólidos suspendidos totales en las aguas del Río San Pedro son relativamente bajos en todos los puntos y épocas de muestreo, siendo, en forma general, mayores los valores de los sólidos sedimentables que los de los sólidos suspendidos. En cambio, los valores de los sólidos disueltos, sí son altos (rango: 200 a 870 mg l⁻¹), indicando una alta concentración de material particulado fino, producto de la heterogeneidad en cuanto al origen de las aguas.

CONDUCTIVIDAD

La conductividad de la mayoría de las aguas dulces fluctúa entre 10 a 10,000 microsiemens cm⁻¹, pero pueden exceder 1,000 microS cm⁻¹, especialmente en aguas contaminadas, o aquellas que reciben grandes cantidades de sedimentos erosivos.

El Río San Pedro muestra valores desde típicamente moderados hasta sumamente altos (mínimo 130 microS cm⁻¹; máximo 1710 microS cm⁻¹), encontrándose los valores más elevados en los puntos de muestreo relativamente más altamente contaminados (Paso Blanco, Sauces y Planta de Tratamiento). Los valores de conductividad se incrementan notablemente de enero a junio. En el efluente de la Planta de tratamiento, se observan valores persistentemente altos (por encima de 1,000 microS cm⁻¹), debido a la naturaleza y la carga orgánica de las aguas residuales que recibe.

POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)

El pH es una variable importante en la evaluación de la calidad del agua, ya que influencia muchos procesos químicos y biológicos dentro de un cuerpo de agua, y todos los procesos asociados con el suministro y tratamiento del agua. En aguas no contaminadas, el pH está principalmente controlado por el balance de CO₂, y iones CO₃ y HCO₃.

El balance natural ácido-base de un cuerpo de agua, puede ser afectado por los efluentes industriales y la depositación atmosférica de sustancias formadoras de ácidos. Los cambios en el pH indican la presencia de ciertos efluentes, particularmente cuando son continuamente medidos y registrados en conjunto con la conductividad del cuerpo de agua. El pH de la mayoría de las aguas naturales está entre 6.0 y 8.5, aunque valores inferiores pueden ocurrir en aguas diluidas con alto contenido orgánico, y valores superiores en aguas eutróficas, aguas subterráneas, salinas y lagos salados. Para este estudio, encontramos los valores más bajos en los meses más fríos y en los sitios más contaminados (octubre a enero: Paso Blanco y tramo Fracc. Sauces-Colinas del Río). En este último sitio, se observan encharcamientos muy patentes que conducen a depósitos de aguas someras con la consecuente elevación térmica y el incremento en el valor del pH, obviamente, más acentuado en los meses más cálidos, que provocan una cadena de efectos sumamente deletéreos.

NUTRIENTES

Compuestos Nitrogenados

Nitrógeno Amoniacal

Las aguas no contaminadas contienen pequeñas cantidades de compuestos amoniacales, usualmente menos 0.1 mg l⁻¹, como nitrógeno, las concentraciones totales de amonio medido en aguas superficiales son típicamente menores de 0.2 mg l⁻¹ N, pero pueden alcanzar 2 a 3 mg l⁻¹ N. Las concentraciones más altas pueden ser un indicio de contaminación, a partir de desechos domésticos, industriales y lavado de fertilizantes. El amonio es, por lo tanto, un indicador muy útil de contaminación orgánica. En la mayoría de los puntos de muestreo, sobre el trayecto del Río San Pedro, los valores promedio de nitrógeno amoniacal

estuvieron alrededor de $6 \text{ mg l}^{-1} \text{ N}$, lo cual indica el alto grado de contaminación en el trayecto del cauce, con excepción de la Estación Palomas -San Francisco de los Romo ($0.8 \text{ mg l}^{-1} \text{ N}$).

NITRATOS (NO_3) Y NITRITOS (NO_2)

Los niveles naturales, raramente exceden $0.1 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$, pero pueden aumentar por aguas residuales municipales e industriales, incluyendo lixiviados de sitios de deposición de desechos y rellenos sanitarios. En áreas rurales y suburbanas, el uso de fertilizantes inorgánicos puede ser una fuente significativa. Las fluctuaciones estacionales en nitratos ocurren con el crecimiento y descomposición de vegetales acuáticos, ya que son nutrientes esenciales para plantas acuáticas.

Cuando existe influencia de actividades humanas, normalmente, las aguas superficiales contienen arriba de $5 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$, pero con frecuencia menos de $1 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$.

Los niveles en exceso de $5 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$, usualmente, indican contaminación por desechos humanos o animales, o escorrentía de fertilizantes. En casos de contaminación extrema, las concentraciones pueden alcanzar $200 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$. Los niveles encontrados en nuestro estudio, son relativamente bajos (de 0.1 hasta $1.25 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$). Sin embargo, niveles de nitratos por encima de $0.2 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$, tienden a estimular crecimientos algales e indican posibles condiciones eutróficas.

Los valores altos encontrados en la estación Palomas-San Francisco de los Romo, el sitio menos contaminado, fueron provocados por gran cantidad de materia orgánica vegetal en descomposición, proveniente de la vegetación leñosa riparia, y posiblemente por la lixiviación de fertilizantes aplicados en las áreas agrícolas circundantes.

Las concentraciones de nitritos fueron negligibles. En general, en aguas dulces sus valores son muy bajos $0.001 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_2\text{-N}$ y raramente superiores a $1 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_2\text{-N}$. Las concentraciones más altas son, generalmente, indicativas de efluentes industriales, y están asociadas con condiciones microbiológicas indeseables de la calidad del agua.

Compuestos fosforados

El fósforo es un nutriente esencial para los organismos vivientes y existe en los cuerpos de agua en forma disuelta o particulada. Es generalmente, el nutriente limitante del crecimiento algal y, por lo tanto, controla la productividad primaria de un cuerpo de agua. Los incrementos artificiales en las concentraciones, debidos a las actividades antropogénicas, son la principal causa de eutroficación. En las aguas naturales y residuales, el fósforo se encuentra, principalmente, como polifosfatos u ortofosfatos disueltos, fosfatos unidos orgánicamente. Los cambios entre estas

formas suceden continuamente debido a la descomposición y síntesis de formas orgánicamente unidas y formas inorgánicas oxidadas. Las aguas residuales domésticas, particularmente aquellas que contienen detergentes, los efluentes industriales y la escorrentía de fertilizantes contribuyen a niveles elevados en aguas superficiales. El fósforo es raramente encontrado en altas concentraciones en aguas dulces, ya que es activamente tomado por las plantas. Como resultado, puede haber considerables fluctuaciones en las concentraciones de aguas superficiales.

En la mayoría de las aguas superficiales, el fósforo fluctúa entre 0.0005 a $0.020 \text{ mg l}^{-1} \text{ PO}_4\text{-P}$. Concentraciones muy bajas de $0.0001 \text{ mg l}^{-1} \text{ PO}_4\text{-P}$, pueden encontrarse en algunas aguas residuales, y tan altas como de $200 \text{ mg l}^{-1} \text{ PO}_4\text{-P}$, en algunas aguas salinas encerradas. La medida promedio en agua subterránea es de $0.02 \text{ mg l}^{-1} \text{ PO}_4\text{-P}$.

Los valores registrados para el Río San Pedro en sitios de asentamientos humanos marcados, indican presencia de contaminación y condiciones de eutroficación, ya que son relativamente altos (hasta de $30 \text{ mg l}^{-1} \text{ PO}_4\text{-P}$), para ambas especies de fósforo. La estación Palomas-San Francisco es el único sitio muestral que presenta valores relativamente bajos (0.25 a $2.3 \text{ mg l}^{-1} \text{ PO}_4\text{-P}$). Las estaciones Paso-Blanco, Sauces-Colinas del Río presentan valores sumamente altos a lo largo del estudio, en esta última estación se observa una disminución muy grande en la concentración en las dos primeras muestras, pero aparente, ya que los niveles de agua eran muy bajos en tales fechas. Por lo que respecta a la Planta de Tratamiento, sus efluentes muestran una remoción pobre de fosfatos, ya que los valores son altos a lo largo de los registros, encontrando con ello una baja eficiencia respecto a la eliminación de este contaminante, lo anterior tiene relación en gran parte en las altas cargas de detergentes que llegan a la planta, producto de las diversas actividades humanas.

Asimismo, los afloramientos de algas ("blooms") son producto primordialmente de las altas concentraciones de fosfatos, esto es particularmente patente en algunos puntos de la zona urbana del municipio de Aguascalientes (Sauces-Colinas del Río).

MATERIA ORGANICA

La mayoría de las aguas dulces contienen materia orgánica que puede ser medida como carbono orgánico total (COT). Para propósitos comparativos, una indicación de la continuidad de materia orgánica presente puede obtenerse por medición de propiedades relacionadas, principalmente la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), o la demanda química de oxígeno (DQO). La DQO usualmente incluye la totalidad o la mayoría de la DBO. En la mayoría de las muestras $\text{DQO} > \text{DBO} > \text{COT}$. Sin embargo, en algunas situaciones esta relación puede no ser válida, sobre todo cuando la muestra contiene sustancias tóxicas.

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

Las concentraciones de DQO encontradas en aguas superficiales fluctúan entre $20 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$, o menor en aguas no contaminadas, a mayores de $200 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}$ en aguas que reciben efluentes. Las aguas residuales industriales pueden tener DQO de 100 hasta $60,000 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$. Nuestras mediciones muestran una amplia variación temporal y espacialmente, siendo la situación más contaminada, las estaciones de Paso Blanco, Sauces-Colinas del Río (valores hasta de $450 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$ durante el mes de enero). Se observa también una reducción considerable en la DQO del efluente de la Planta de Tratamiento (el valor más alto es $164 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$), lo que demuestra una alta eficiencia con respecto a este parámetro.

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una medida aproximada de la cantidad de materia orgánica bioquímicamente degradable presente en una muestra de agua. Está definida por la cantidad de O_2 requerida por los microorganismos aerobios, presentes en la muestra para oxidar la materia orgánica a una forma inorgánica estable. El método está sujeto a varios factores complicados, tales como la demanda de O_2 resultante de la respiración de algas en la muestra y la probable oxidación del amonio (por presencia de bacterias nitrificantes). La presencia de sustancias tóxicas en una muestra puede afectar la actividad microbiana conduciendo a una reducción en la DBO medida. Como se mencionó anteriormente, las mediciones de DBO son usualmente inferiores que las mediciones de DQO. Las aguas típicamente no contaminadas tienen valores de DBO de $2 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$ o menos, mientras aquellas que reciben aguas residuales pueden tener valores superiores a 10 mg l^{-1} de O_2 o más, particularmente cerca del punto de descarga de aguas residuales. Las aguas residuales de drenajes domésticos tienen una DBO de alrededor de $600 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$, mientras que los efluentes de drenajes tratados tienen valores de DBO que fluctúan entre 20 a $100 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$, dependiendo del nivel de tratamiento aplicado. Los desechos industriales pueden tener valores de DBO superiores a $25,000 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$. Por el trayecto del Río San Pedro, los valores oscilan entre 20 y $360 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$. Los valores de efluente de la Planta de Tratamiento registran de 29 a $120 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$, en el período de muestreo anual realizado, lo cual indica niveles altamente satisfactorios en cuanto a eficiencia en la reducción de este parámetro. Los registros más altos se tienen en la época más fría, y obviamente en las estaciones de muestreo con mayor grado de contaminación (Paso Blanco y Sauces-Colinas del Río).

CONTAMINANTES ORGANICOS

Múltiples compuestos orgánicos ingresan a las aguas como resultado de las actividades humanas. Estos compuestos tienen propiedades físicas, químicas y toxicológicas significativamente diferentes. No es factible monitorear cada compuesto individual, sin embargo, es probable

seleccionar contaminantes orgánicos prioritarios basados en su prevalencia, toxicidad y otras propiedades.

Ejemplos de tales clases de compuestos son aceites y otros productos derivados del petróleo, fenoles, pesticidas, bifenilos policlorinados (PCBs), y surfactantes aniónicos (detergentes).

En virtud de la naturaleza y los objetivos de este estudio sólo se determinaron grasas y aceites y detergentes. En un futuro cercano, sería deseable realizar otras investigaciones sobre estos compuestos y su estatus en la región.

GRASAS Y ACEITES

La concentración permisible de petróleo y sus derivados en el agua, depende del uso que se intente dar al agua. Las concentraciones máximas para suministros de agua potable y protección de la biota acuática y las pesquerías, están entre 0.01 y 0.1 mg l^{-1} . Las concentraciones de 0.3 mg l^{-1} o más, de petróleo crudo, pueden causar efectos tóxicos en peces dulceacuícolas.

Las concentraciones alcanzadas en estos parámetros adentro de las aguas superficiales del Río San Pedro, son muy bajas (0.01 a 0.08 mg l^{-1}). Sin embargo, en el trayecto urbano del cauce dentro de la porción entubada de las aguas residuales, es altamente probable que los valores sean más elevados, tal como se observó en la estación Fracc. Sauces-Colinas del Río, en la época fría (enero), se alcanzó un valor de hasta 0.8 mg l^{-1} en las aguas residuales fugadas del entubamiento del río.

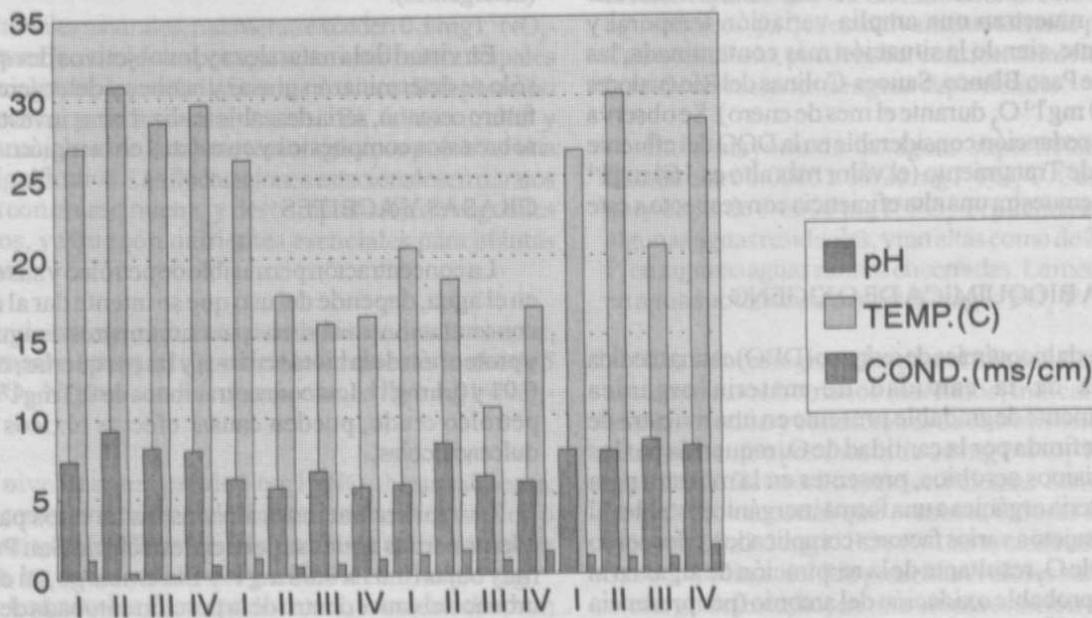
SURFACTANTES ANIONICOS (DETERGENTES)

Los surfactantes sintéticos son compuestos que pertenecen a diferentes clases químicas, pero que contienen un radical hidrofóbico polar débil (alquil o alquilaril), y uno o más grupos polares. Los surfactantes pueden ser clasificados en aniónicos (negativamente cargados), catiónicos (positivamente cargados), y no iónicos (no ionizantes). Los surfactantes aniónicos son los más ampliamente producidos y usados como detergentes.

Los surfactantes entran a los cuerpos de agua en las aguas residuales industriales y domésticas, pueden existir en aguas superficiales en estados disueltos o absorbidos, así como en la película superficial de cuerpos de agua, por su habilidad pronunciada de concentrar la interfase aire-agua o agua-sedimento. Aunque los surfactantes no son altamente tóxicos pueden afectar la biota acuática.

Los detergentes pueden impartir olor o sabor al agua a concentraciones de 0.4 a 3 mg l^{-1} , y la clorinación puede aumentar su efecto. Los surfactantes son responsables de la formación de espumas en las aguas superficiales. Otros contaminantes, incluyendo patógenos, pueden concentrarse en la espuma. La presencia de espuma sobre las aguas

**CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RIO SAN PEDRO
PERIODO DE ESTUDIO DE JUNIO 1994 A JUNIO 1995**



Estaciones de Muestreo (1994 a 1995)
I. Planta de tratamiento II. Sauces III. Sn. Fco. IV. Paso Blanco

superficiales hace la aireación del agua difícil, disminuye los niveles de O_2 , reduce los procesos de autopurificación y afecta adversamente a la biota acuática. La concentración umbral para la formación de espuma es 0.1 a 0.5 mg l^{-1} , dependiendo de la estructura del surfactante.

En los últimos años, ha existido la tendencia a substituir los surfactantes no degradables por los degradables. Sin embargo, este intento para reducir la contaminación tiene la desventaja de causar una disminución considerable en la concentración de oxígeno disuelto.

La contaminación por detergentes es excesivamente alta en las aguas superficiales del Río San Pedro, los valores son sumamente elevados, fluctuando desde 100 hasta 1400 mg l^{-1} . Los sitios más contaminados muestran los registros mayores (Paso Blanco y Sauces-Colinas del Río). El efluente tratado de la planta, muestra valores altos indicando una eficiencia baja en la remoción de detergentes (rango: 200 a 720 mg l^{-1}). Por las concentraciones registradas, obviamente, la formación de espuma es muy marcada, siendo patente en la mayoría del trayecto del río, y altamente evidente en las

inmediaciones de la presa "El Niágara", y en las aguas efluentes de la planta. Un hecho notable, es que aún en la Estación Palomas ubicada en la zona rural, los registros de detergentes son moderadamente altos (100 a 420 mg l^{-1}), posiblemente derivados de los asentamientos humanos cercanos y las actividades agropecuarias preponderantes en la zona.

INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

El rasgo más común para la salud humana asociado con el agua, es la presencia de microorganismos causantes de enfermedades. Muchos de éstos se originan en aguas contaminadas con excrementos humanos y animales. Las heces fecales pueden contener una gran variedad de patógenos intestinales que causan desde gastroenteritis leves hasta serias, y posiblemente letales, disenterías, cóleras y tifoideas. Dependiendo de la prevalencia de otras enfermedades en una comunidad pueden estar presentes virus y otros parásitos. El agua dulce también contiene microorganismos nativos; incluyendo bacterias, hongos, protozoarios y algas, algunos producen toxinas y transmiten o causan enfermedades.

El drenaje, la escorrentía urbana y rural, y las aguas residuales, en general, son ampliamente descargadas en los cuerpos de agua, particularmente en los ríos. Los patógenos asociados con estas descargas, subsecuentemente, se distribuyen a través del cuerpo de agua, representando un riesgo para los usuarios del recurso río abajo. El drenaje municipal típico puede contener de 10 a 100 millones de bacterias coliformes por cada 100 ml, y 1 a 50 millones de *Escherichia coli* o estreptococos fecales por 100 ml. Diferentes niveles de tratamiento pueden reducir esto en un factor de 10 a 100, y estas concentraciones se reducen posteriormente por dilución con otras aguas.

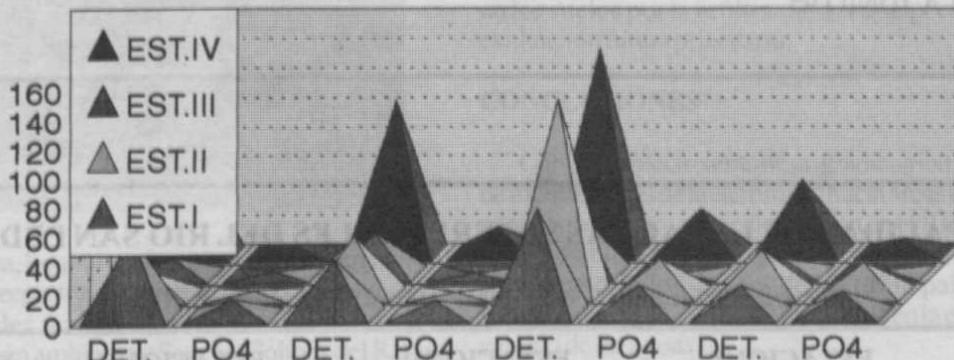
La práctica de aplicación terrestre de aguas residuales, particularmente las pobremente tratadas, puede conducir a la contaminación por patógenos en aguas superficiales y subterráneas.

La cuenta de bacterias de origen fecal en ríos y lagos alrededor del mundo, que sufren poco impacto humano, varía de <1 a 3,000 organismos por 100 ml. Sin embargo, los cuerpos de agua en áreas de alta densidad poblacional pueden tener cuentas superiores a 10 millones de organismos por 100 ml. Donde las bacterias coliformes fecales son abundantes, los virus también pueden ser detectables, pero sólo en volúmenes de 20 a 100 l de agua.

En el trayecto del cauce temporal y discontinuo del Río San Pedro, encontramos cuentas de coliformes totales con valores fluctuantes desde 2.3×10^2 organismos/100 ml (Palomas-San Francisco de los Romo), hasta valores totalmente disparados de 1.1×10^{12} organismos/100 ml (Sauces-Colinas del Río).

**CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RIO SAN PEDRO
CONCENTRACIONES DE DETERGENTES Y FOSFATOS**

Junio 94 a junio 95

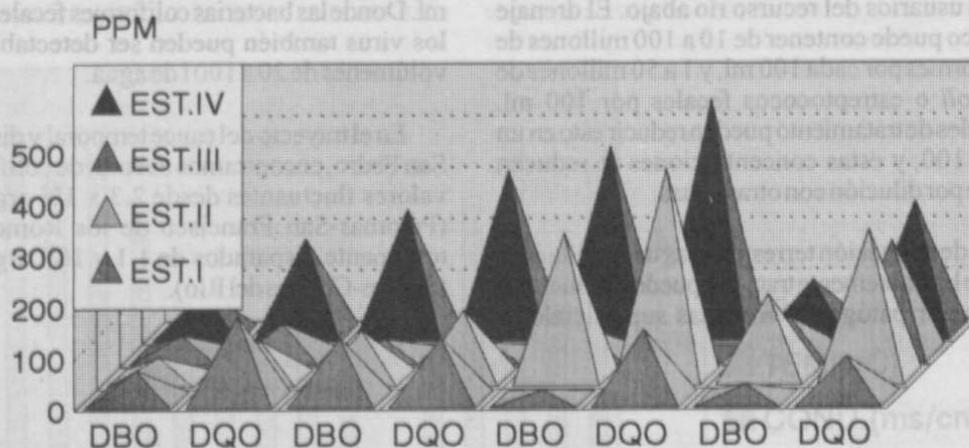


	DET.	PO4	DET.	PO4	DET.	PO4	DET.	PO4
EST.IV	70	6.3	105	18.1	140	30	50	9.95
EST.III	12	2.3	28	0.25	42	0.46	10	2.1
EST.II	17	3.3	40	2	134	24.2	30	21.4
EST.I	55	11.6	38	10.1	72	20.2	20	16.1

Fosfatos en ppm.

Detergentes en (mg/100 ml)

**CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RIO SAN PEDRO
FLUCTUACIONES DE LAS DBO Y DQO**



EST.IV	80	183	240	315	360	451	100	253
EST.III	40	62	30	25	50	0	70	220
EST.II	40	71	90	130	280	405	160	286
EST.I	60	164	120	121	20	136	30	83

JUNIO 94 A JUNIO 95

CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RIO SAN PEDRO

Bacterias Coliformes Totales (NMP/100 ml) y Niveles de DBO (ppm).

	ESTACION I	ESTACION II	ESTACION III	ESTACION IV
DBO junio 94	60	40	40	80
COLIFORMES	$>2.4 \times 10^6$	9.3×10^3	1.1×10^5	$>2.4 \times 10^6$
DBO octubre 94	120	90	30	240
COLIFORMES	1.1×10^5	2.4×10^6	1.5×10^3	1.1×10^8
DBO enero 95	20	280	50	360
COLIFORMES	1.4×10^4	1.1×10^9	2.3×10^2	7.5×10^7
DBO junio 95	30	160	70	100
COLIFORMES	7.5×10^4	1.1×10^{12}	1.2×10^3	7.5×10^6

ESTACIONES:

I: Planta de Tratamiento. II: Sauces-Colinas del Río. III: San Francisco-Pabellón. IV: Paso Blanco-Jesús María.



De nueva cuenta, los puntos de muestreo más altamente contaminados, con respecto a otros parámetros, poseen cuentas de coliformes totales mayores y fuera de toda norma en materia de protección ambiental (Sauces-Colinas del Río y Paso Blanco, Jesús María). Cabe destacar, que son sumamente alarmantes las concentraciones bacteriales en estos dos sitios, ya que exceden a la norma vigente, en gran medida.

La fuga en el sistema de entubamiento del Río San Pedro, a la altura del fraccionamiento Los Sauces, hace que se formen estancamientos de aguas residuales a nivel superficial, los cuales representan un gran peligro para la población, particularmente para quienes habitan tan cercanamente a las inmediaciones marginales del cauce y río abajo; siendo una tarea prioritaria ejercer acciones de saneamiento ambiental y correcciones del flujo subsuperficial entubado, ya que niveles de coliformes por encima de 10^7 organismos/100 ml representan un riesgo altísimo para la salud humana (durante 1995, los registros oscilan entre 10^9 a 10^{12} organismos/100 ml).

La eficiencia de desinfección del efluente mediante la clorinación de las aguas tratadas de la Planta de Tratamiento, es relativamente buena. No obstante, las aguas residuales aún llevan cargas bacteriales moderadamente elevadas (10^4 a 10^6 organismos/100 ml), por lo que su uso en riego agrícola debe ser cuidadosamente vigilado, tanto en los tipos de cultivos a irrigar como en las cantidades usadas y depositadas en los suelos por la infiltración, este aspecto requiere una evaluación futura prioritaria.

CONCLUSIONES

Con el establecimiento de un gradiente en las condiciones de muestreo, desde áreas rurales hacia áreas urbanas, para el análisis de las aguas que descargan en el Río San Pedro, ha sido posible observar que efectivamente sí existe un incremento en los valores de los principales parámetros fisicoquímicos y biológicos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas.

Es importante enfatizar, que son alarmantes los niveles de contaminación hídrica en las comunidades comprendidas en el municipio de Jesús María, principalmente en el trayecto Paso Blanco-Maravillas-Jesús María, en donde se encuentran concentraciones sumamente altas de detergentes, fosfatos y cuentas de coliformes fecales sumamente elevadas, de igual forma, los valores de DBO y DQO muestran un incremento en dichas localidades.

La sección muestral con menor grado de impacto es el trayecto Pabellón-San Francisco de los Romo, no obstante, también muestra cierta elevación en los niveles de detergentes durante la época de secas. Los números de bacterias coliformes presentan valores relativamente altos en algunos sitios delimitados, sin embargo, sus fluctuaciones

son mayores, y no muestran la persistencia de los sitios de Jesús María.

En la parte correspondiente a las estaciones de muestreo que se ubican dentro de la zona urbana del municipio de Aguascalientes, trayecto comprendido entre los fraccionamientos Los Sauces-Colinas del Río-Del Valle, se presentan fluctuaciones marcadas en los valores del pH, que van desde francamente alcalinos hasta moderadamente ácidos, hecho que tiene relación con la gran oscilación de los niveles del agua y las temperaturas registradas, y con ello, la consecuente concentración de algunos contaminantes cuando los primeros disminuyen notablemente. Este hecho también repercute fuertemente en la cantidad de coliformes presentes, como lo demuestran los valores observados.

Cabe resaltar, que gran parte de las aguas residuales que efluyen de los conglomerados humanos de la ciudad capital, fluyen a través del colector marginal, por lo que los niveles contaminantes observados en las aguas superficiales no reflejan los verdaderos impactos de la contaminación de las aguas generadas en la capital, pero este aspecto se aparta del

objetivo del presente trabajo, aunque sería de interés evaluarlo en investigaciones futuras.

De acuerdo a la norma oficial mexicana (NOM-031-ECOL-1993) que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal; las aguas residuales deben cumplir con ciertas especificaciones para algunos de los parámetros objeto de esta investigación. Como se observa, los parámetros que quedan fuera de norma son el pH y las concentraciones de detergentes. El pH muestra fluctuaciones, ocasionalmente, correlacionables con cambios en otros parámetros fisicoquímicos, previamente discutidos.

Los niveles de detergentes sí están persistentemente fuera de las concentraciones permisibles, siendo este parámetro el crítico dentro de los pocos que considera esta norma, con todos sus efectos deletéreos concomitantes. La norma 031 establece lo siguiente:

PARAMETRO	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES		RIOSAN PEDRO
	Promedio diario	Instantáneo	Registros máximos
Temperatura (°C)		40	30.9
pH (unidades de pH)	6 a 9	6 a 9	9.3
Sólidos sedimentables (ml/L)	5	10	0.7
Grasas y aceites (mg/L)	60	100	0.8
Conductividad eléctrica (microohms/cm)	5,000	8,000	1710
Substancias activas al azul de metileno (mg/L)	30	60	1400



PARAMETRO	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES	EFLUENTES TRATADOS
pH	6.5-8.5	7.8
Conductividad eléctrica (micromhs cm-1)	2,000	1320
Demanda bioquímica de O ₂ (mg/L)	120	120
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	120	0.052

Al final del curso del río, en las aguas que efluyen de la Planta de Tratamiento, se observa que su eficiencia de remoción de contaminantes es relativamente buena para la mayor parte de parámetros analizados, con excepción de detergentes y fosfatos, cuyas concentraciones continúan siendo altas. Asimismo, los números de coliformes, aunque muestran una reducción considerable por los procesos de desinfección, son elevados.

La norma 032 (NOM-032-ECOL-1993) establece, entre otros, los límites para las aguas residuales que se dispongan mediante riego agrícola:

De acuerdo a tales criterios, el agua tratada es enteramente óptima para ser utilizada en actividades de riego agrícola de cultivos no destinados a consumo humano directo. No obstante, nuevamente los parámetros considerados por la norma son muy limitados. Sería conveniente evaluar los impactos por las cargas moderadamente altas de bacterias coliformes aún presentes. Así como los efectos a largo plazo sobre las características edáficas de los suelos de la zona de la acumulación de contaminantes no considerados, como es el caso de algunos metales pesados.

Finalmente, se puede concluir que existe una relación directa entre la naturaleza de las diversas actividades humanas y el grado de contaminación de las aguas, lo cual queda ilustrado por los valores registrados y las observaciones realizadas en los diversos sitios de colecta y el gradiente de generación de contaminantes desde áreas rurales a urbanas, las diferencias entre los asentamientos humanos sin ningún grado de manejo de sus desechos, y los conglomerados urbanos con cierto tratamiento, y el grado de contaminación del agua y el deterioro del habitat físico en las diferentes épocas del año. A este respecto, son sumamente graves las grandes afectaciones realizadas en el curso del río, aspecto que ha modificado substancialmente el cauce y el habitat físico, principalmente debido al gran auge en la construcción en la capital, que ha derivado en el fomento de las actividades de extracción de materiales y la explotación desregulada de bancos de arena y grava, con los consecuentes impactos ecológicos en el habitat, la flora y la fauna de los sitios circundantes y el cauce del río.

Agradecimientos: El autor desea reconocer las significativas contribuciones de los técnicos del Laboratorio del Depto. de Biología, TLQ Gustavo E. Quintero Díaz y TLQ Ma. del Carmen López Gutiérrez, por su valioso apoyo en los procesos de análisis de muestras.

BIBLIOGRAFIA

APHA, AWWA and WPCF (1981). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 13th ed. New York, 847 pp.

Azov, Y. et al (1992). *Monitoring large scale wastewater reclamation systems*. *Wat. Sci. Tech.* 26/7-8): 1545-1553.

Chapman, D. (1992). (Ed.) *Water Quality Assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. Chapman & Hall, London. 585 pp.

Comisión Nacional del Agua (CNA). (1992). *Ley de Aguas Nacionales*. CNA y SARH. 77 pp.

Gross, A. (1986). *Water Quality Management Worldwide*. *Environ. Manage.* 10(1): 25-39.

Hach. (1992). *Water Analysis Handbook*. Hach Company, Colorado, 831 pp.

Miller, G. Tyler (1991). *Environmental Science: Sustaining the Earth*. Wadsworth, USA. 232 pp.

Normas Oficiales Mexicanas en Materia Ambiental. (1993-1994). Diario Oficial de la Federación. (Compilación por el Centro de Calidad Ambiental del ITESM).

Odendall, P.E. (1991). *Wastewater Reclamatory Technologies and Monitoring Techniques*. *Wat. Sci. Tech.* 24(9): 173-184.

World Resources 1992-1993 (1992). Oxford Univ. Press, New York, 159-173.