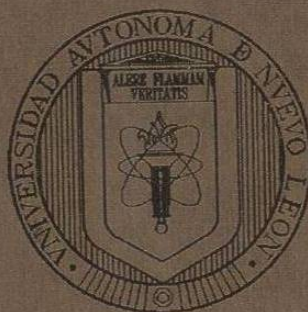


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



Evaluación de la Calidad del Agua del Río San Juan,
en el Estado de Nuevo León

TESIS DE MAESTRÍA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:

ING. JOSÉ SANTOS FLORES LAUREANO

Linares, Nuevo León, México

Enero 1997

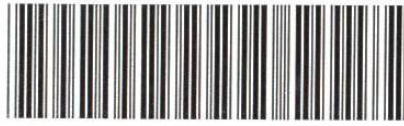
TM

Z5991

FCF

~~1997~~

F5



1020118308

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



Evaluación de la Calidad del Agua del Río San Juan,
en el Estado de Nuevo León

TESIS DE MAESTRÍA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:

ING. JOSÉ SANTOS FLORES LAUREANO

Linares, Nuevo León, México

Enero 1997

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Evaluación de la Calidad del Agua del Río San Juan, en el Estado de Nuevo León

TESIS DE MAESTRÍA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:

ING. JOSÉ SANTOS FLORES LAUREANO

COMISIÓN DE TESIS



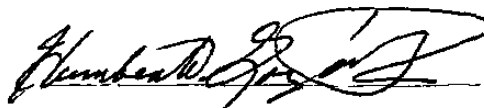
Ph. D. José de Jesús Navar Cháidez

Presidente



Dr. César M. Cantú Ayala

Secretario



Ph. D. Humberto González Rodríguez

Vocal

Dr. Enrique Vogel Martínez

Asesor Externo

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey



FONDO TESIS

**Más fácil me ha sido encontrar las leyes con que se
mueven los Cuerpos Celestes, los que están a millones de kilómetros,
que definir las leyes del movimiento del agua, que corre
frente a mis ojos.**

Galileo.

**Si el agua, la sustancia más común de la tierra,
empezara de pronto a comportarse como debiera,
según su constitución molecular, la vida quedaría sometida
a una serie de desastres. La sangre herviría en el cuerpo,
plantas y árboles se secarían y morirían,
y el mundo se convertiría en un árido desierto.**

Time-Life

**De todas las sustancias necesarias para la vida,
tal y como la conocemos en la tierra, el agua es la más importante,
la más conocida, y la más maravillosa; y, sin embargo,
la mayoría de la gente sabe muy poco acerca de ella.**

Thomas King

DEDICATORIA

A mis Padres, porque su amor me ha traído hasta aquí

**A Martha Elena, por estar a mi lado,
por amarme y por creer en mí**

**A mis Hijos, Martha Cecilia y José Fernando,
motivos de gozo permanente en mi vida.**

**A mis Hermanos, Rosy, Yane, Lalo, Paty,
los mejores del mundo.**

**Especialmente a ti “Willy”, mi Hermano,
con la esperanza de que un día puedas
leer este trabajo.**

AGRADECIMIENTOS

La culminación de este trabajo no hubiera sido posible sin el aporte de muchas instituciones y personas, a las cuales deseo agradecer su valioso apoyo.

A la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria, por darme la oportunidad de superarme académicamente, y poder servir con un trabajo de mayor calidad a la gente del campo. De la misma manera, agradezco a la Coordinación Estatal de la DGETA, el haberme promovido y apoyado siempre ante nuestra Dirección General, así como a los Directivos del CBTA No. 29. Todos, en su momento, confiaron en mí.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico otorgado para cursar mis estudios de Maestría.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la U.A.N.L., por aceptarme en su seno; la siento como mi casa

A la Gerencia Estatal de la Comisión Nacional del Agua, por su invaluable apoyo en la colecta de muestras y los análisis físicos, químicos y bacteriológicos. Agradecimiento muy especial para el personal del laboratorio de Calidad del Agua, particularmente a la M.C. Dolores Guerra Alvarez, Jefa del Laboratorio, así como la Q.I. María Guadalupe Calderón García, Q.B.P. María Cristina Castilla García, Q.F.B. Norma Aidé Estrada Rodríguez, Q.B.P. Martha Patricia Olalde Felipe y María de la Luz Treviño Barbosa. Hago mención especial del Sr. José Ines Suarez Alanís, con quien me siento no sólo agradecido sino en deuda por su profesionalismo, responsabilidad y ofrecerme su valiosa amistad.

A los CC Ing Doroteo Treviño Puente, Jefe de la Unidad de Hidrometría de la CNA, por facilitarme equipo e información valiosa, y al Ing. Mario Tovar, Jefe de la Oficina Local de la CNA por facilitarme equipo.

Al Dr. Alfredo Piñeiro López, Jefe del Departamento de Toxicología y Farmacología de la Facultad de Medicina de la U.A.N.L., por su valioso apoyo en los análisis de metales pesados, así como al Q.C.B Marco A. Bernal en la realización de los mismos, y por brindarme su amistad.

Al Dr. Enrique Vogel Martínez, del Centro de Calidad Ambiental del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, por su gestión en los análisis de pesticidas, y sus valiosos comentarios.

Al Dr. Alfonso Martínez Muñoz, Director de la Facultad, quien siempre estuvo atento y dispuesto a atender nuestros requerimientos.

Un agradecimiento y reconocimiento muy especial al Ph. D. José de Jesús Návar Cháidez, porque me ha brindado apoyo, impulso, asesoría, amistad, y sobre todo por su gran calidad humana.

Al Dr. César M. Cantú Ayala, de quién en su momento, ya sea como Director de la Facultad, o como asesor, obtuve sólo cosas buenas.

Al Dr. Humberto González Rodríguez, por sus valiosos comentarios, su apoyo material y su siempre buena disposición.

A los CC. Dr Oscar Aguirre C., Dr. Eduardo Treviño y Dr. Javier Jiménez, quienes en su momento, atendieron a mis solicitudes y asuntos al frente de la Subdirección de Postgrado.

Al Dr. Miguel Ruiz, por el apoyo con equipo del Laboratorio de Suelos de la Facultad.

A todo el personal docente de la Facultad por su excelente desempeño y enriquecer mi acervo académico.

Al Ing. Oscar Ramírez, por su excelente trabajo en la impresión y encuadernación de esta tesis.

Al personal administrativo y de campo de la Facultad, particularmente a Héctor, por su ayuda en el muestreo.

A mis Compañeros de Generación, conocerlos y convivir con ustedes fue un privilegio. Gracias Rosy, Gloria, Blanca, Malú, Mario, Carlos, Raúl, Gustavo, Chuy, Clemente y "Boots".

*** A Dios**

INDICE

	Página
Lista de Tablas.....	i
Lista de Figuras.....	ii
Lista de Abreviaturas.....	iv
Resumen.....	vi
Abstract.....	viii
1. Introducción.....	1
1.1 Justificación.....	2
1.2 Objetivos.....	4
2. Antecedentes.....	6
3. Materiales y métodos.....	33
3.1 Localización del área de estudio.....	33
3.2 Parámetros evaluados.....	36
3.3 Análisis de laboratorio.....	37
3.4 Muestreo.....	41
3.5 Aforo de caudales.....	43
3.6 Normas utilizadas.....	43
3.7 Análisis estadístico.....	46
4. Resultados.....	51

4.1 Identificación y cuantificación de contaminantes.....	51
4.2 Análisis espacial de las concentraciones.....	55
4.3 Análisis temporal de las concentraciones.....	60
4.4 Análisis de correlación lineal de las concentraciones.....	61
4.5 Análisis de pesticidas.....	68
4.6 Análisis espacial y temporal de las masas de los contaminantes.....	68
4.7 Modelado estadístico.....	77
5. Discusión.....	91
5.1 Calidad del agua para consumo humano y como fuente de abastecimiento..	91
5.2 Calidad del agua para mantenimiento de la vida acuática.....	92
5.3 Variaciones espaciales y temporales.....	98
6. Conclusiones.....	100
7. Recomendaciones.....	102
8. Bibliografía.....	103
ANEXOS.....	113
A...Métodos de laboratorio, límites de detección y equipo utilizado para la medición de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos.....	114
B...Límites de detección de metales en agua.....	115
C...Normas utilizadas con fines de comparación de los datos de metales pesados.....	116
D...Normas utilizadas con fines de comparación de los datos de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos.....	117

E...Concentración de resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros con n=80.....	118
F...Concentración de resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros con menos de 80 observaciones.....	126
G...Estadísticas básicas de los parámetros medidos.....	127

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla</i>		<i>Página</i>
1.	Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo.....	34
2.	Longitudes de onda (nm) empleadas para la determinación de metales por espectrofotometría de plasma de argón inducido.....	39
3.	Parámetros del instrumento utilizado para espectrofotometría de emisión atómica por plasma de argón inducido	39
4.	Parámetros del espectrofotómetro de absorción atómica utilizado con la técnica de generación de hidruros para la determinación de As, Hg y Se.....	40
5.	Parámetros del espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito para la determinación de Pb.....	41
6.	Rampa de calentamiento del instrumento con horno de grafito.	41
7.	Porcentaje de observaciones de metales pesados que excedieron los límites máximos permitidos.....	53
8.	Porcentaje de observaciones de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos que excedieron los límites máximos permitidos....	53
9.	Número de parámetros por estación que mostraron los valores <i>promedio más altos</i>	58
10.	Número de comparaciones posibles de las concentraciones medidas contra el número de normas.....	58

Tabla	Página
11. Matriz de Coeficientes de Correlación de Pearson para los metales pesados.....	64
12. Matriz de Coeficientes de Correlación de Pearson entre metales pesados y parámetros físicos.....	65
13. Matriz de Coeficientes de Correlación de Pearson entre metales pesados y parámetros químicos.....	66
14. Matriz de Coeficientes de Correlación de Pearson entre parámetros físicos y químicos.....	67
15. Matriz de Coeficientes de Correlación de Pearson de los parámetros físicos.....	67
16. Matriz de Coeficientes de Correlación de Pearson de los parámetros químicos.....	67
17. Resultados de los análisis de varianza de los metales pesados.....	74
18. Resultados de la prueba de Tukey para las medias de las masas por estación.....	75
19. Resultados de la prueba de Tukey para las medias de las masas en las fechas de muestreo.....	76
20. Parámetros de la Distribución Weibull para los metales pesados.....	78
21. Parámetros de la Distribución Weibull para los parámetros físicos y químicos.....	78
22. Valores de χ^2 para las variables de estudio.....	79
23. Probabilidad de que los metales pesados excedan las normas de calidad del agua, calculada mediante la Distribución Weibull.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de localización de las estaciones de muestreo.....	35
2. Número de observaciones por estación que excedieron las normas.....	59
3. Número de veces que los parámetros excedieron las normas en las diferentes fechas de muestreo.....	60
4. Diagrama de Componentes Principales para estaciones de muestreo.....	70
5. Diagrama de Componentes Principales para fechas de muestreo.....	72
6. Diagrama de Componentes Principales para metales pesados.....	73
7-12 Ajuste de la Distribución Weibull a los parámetros fisico-químicos.....	80
13-20 Continuación.....	81
21-26 Ajuste de la Distribución Weibull a los metales pesados.....	82
27-32 Continuación.....	83
33-36 Continuación.....	84
37-A Distribución espacial del caudal y de las masas totales de metales pesados.....	89
37-B Modelo lineal para el cálculo de la masa total en base al caudal.....	89
38-A Distribución temporal del caudal y de las masas totales de metales pesados.....	90
38-B Modelo lineal y de Chapman-Richards para el cálculo de la masa en base al caudal.....	90

LISTA DE AREVIATURAS

Alc= Alcalinidad total	SDF= Sólidos Disueltos Fijos
Clo= Cloruros	SDV= Sólidos Disueltos Volátiles
Col= Color	SDT= Sólidos Disueltos Totales
ColFec= Coliformes Fecales	SSED= Sólidos Sedimentables
ColTot= Coliformes Totales	SSF= Sólidos Suspendidos Fijos
CE= Conductividad Eléctrica	SSV= Sólidos Suspendidos Volátiles
DBO ₅ = Demanda Bioquímica de Oxígeno	SST= Sólidos Suspendidos Totales
DQO= Demanda Química de Oxígeno	STF= Sólidos Totales Fijos
S.A.A.M.= Substancias Activas al Azul de Metileno (Detergentes)	STV= Sólidos Totales Volátiles
DCa= Dureza de Calcio	ST= Sólidos Totales
DMg= Dureza de Magnesio	Sulf= Sulfatos
DT= Dureza Total	Temp= Temperatura del Agua
Fosf= Fosfatos	Tur= Turbiedad
GA= Grasas y Aceites	Al= Aluminio
Nitra= Nitratos	Sb= Antimonio
Nitri= Nitritos	As= Arsénico
NAm= Nitrógeno Amoniacal	Ba= Bario
Norg= Nitrógeno Orgánico	Be= Berilio
pH= Potencial de Iones Hidrógeno	B= Boro
	Cd= Cadmio

Ca= Calcio

Co= Cobalto

Cu= Cobre

Cr= Cromo

Sn= Estaño

Fe= Fierro

Li= Litio

Mg= Magnesio

Mn= Manganeseo

Hg= Mercurio

Mo= Molibdeno

Ni= Níquel

Ag= Plata

Pb= Plomo

Se= Selenio

Si= Silicio

Zn= Zinc

$\mu\text{g/g}$ = microgramos/gramo

μm = micrometros

$\mu\text{g/l}$ = Microgramos/litro

mg/l = Miligramos/litro

Km^2 = Kilómetros cuadrados

RESUMEN

El Río San Juan, en el estado de Nuevo León, ha padecido desde hace tiempo fuertes problemas de contaminación, siendo la causa fundamental el gran desarrollo urbano e industrial de la ciudad de Monterrey y su área metropolitana. Sobre este problema han sido pocos los estudios completos y sistemáticos que se han hecho hasta la fecha, particularmente en lo que se refiere a la contaminación por metales pesados. El propósito de este trabajo fue el de evaluar la calidad del agua de este río, mediante la identificación de los contaminantes, el análisis de las variaciones espaciales y temporales y el ajuste de modelos estadísticos. Se estudiaron parámetros físicos, químicos, bacteriológicos, pesticidas y metales pesados. Estos parámetros se compararon contra estándares nacionales e internacionales de calidad del agua. Se encontraron concentraciones excesivas de coliformes fecales y totales, sulfatos, detergentes, sólidos disueltos, aluminio, bario, cromo, fierro, cadmio y algunos otros de menor importancia. En el análisis de las masas de los contaminantes se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las estaciones de muestreo, así como entre las fechas en que se realizaron. La estación más cercana a la presa "El Cuchillo", cuya agua abastece a la ciudad de Monterrey, mostró tener los mayores problemas de contaminación. Se comprobó la existencia de una relación muy estrecha entre valores altos del caudal y valores altos de masas de contaminantes por un lado, y por el otro bajos valores del caudal y altas concentraciones. Ambas situaciones se deben considerar como de alto

riesgo desde el punto de vista ecológico. La contaminación en este río no es producto sólo de la actividad urbana e industrial en la ciudad de Monterrey, sino de las actividades antropogénicas de toda la cuenca.

ABSTRACT

The San Juan River, in the state of Nuevo León, has had for a long time strong contamination problems, appearing to be the urban and industrial growth of the city of Monterrey and its metropolitan area the major cause of this problem. However, a few studies dealing with the temporal and spatial assessment of the river contamination have been conducted regardless its contamination by heavy metals. The objective of this study was to assess the quality of the San Juan River by identifying its water contaminants, to analyze the temporal and spatial variations of the contaminants, and to fit statistical models to this information. The water quality parameters studied were ranked in physical, chemical, bacteriological, pesticides, and heavy metals. They were compared with Mexican as well as with several international water quality standards. The concentrations of several water quality parameters such as: fecal and total coliforms, sulfates, detergents, dissolved solids, Al, Ba, Cr, Fe, Cd, and several others of less importance surpassed several water quality standards. The mass balance of contaminants showed statistical differences between sampling sites and dates. The sampling site closest to the "El Cuchillo" dam, which supplies with water for domestic and industrial purposes to the city of Monterrey, showed the greatest water contamination problems. Positive linear and non linear models were fitted to heavy metals mass and discharge either by sampling site or dates. On the other side, heavy metals concentrations and discharge showed negative relationships. Both relationships must be considered from the ecological stand point of

view. The contamination of this river appears to be related to human activities in the entire watershed not only to urban and industrial activities of the city of Monterrey.

1. INTRODUCCIÓN

El modelo de desarrollo económico y social empleado por los países más avanzados ha perseguido como meta el bienestar material de la sociedad, lo que ha significado a lo largo de las últimas décadas un uso altamente intensivo de los recursos naturales. Estos inevitablemente han empezado a resentir el impacto de las actividades humanas.

Los países en vías de desarrollo, como el nuestro, han pretendido imitar dicho modelo de desarrollo, no logrando conseguir los mismos resultados económicos, pero si en cambio magnificando los problemas derivados de la sobreexplotación de los recursos naturales.

Uno de los recursos naturales más importantes es el agua, el cual no se distribuye uniformemente sobre la superficie del planeta, por lo que existen muy marcados contrastes espaciales en su abundancia. Si al problema de la escasez de agua le añadimos el de su contaminación, entonces el problema se torna aún más agudo.

El estado de Nuevo León es un claro ejemplo de lo anterior, ya que se tienen fuertes problemas tanto de cantidad como de calidad del agua superficial.

Particularmente, la cuenca del Río San Juan presenta una problemática muy fuerte y compleja en lo que se refiere a sus usos legales y a la contaminación de sus aguas.

La Comisión Nacional de Ecología de la desaparecida Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1988), revela que existe contaminación en 216 cuencas hidrológicas, observándose en 20 de ellas un deterioro mayor debido a que ahí se vierte el 79% de la carga orgánica total del país. Cinco de estas cuencas concentran el mayor desarrollo urbano e industrial, por lo que han sido consideradas de atención prioritaria: Lerma-Santiago, Pánuco, San Juan, Balsas y Blanco.

Dado que la cuenca del Río San Juan es una de las más contaminadas del país, tanto el Gobierno Federal como el Estatal, así como las autoridades del municipio de Monterrey, se han interesado por monitorear la calidad del agua de éste río. Algunas dependencias involucradas han sido la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, la Comisión Nacional del Agua y los Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey. Sin embargo, sólo se han estudiado los parámetros convencionales (físicos, químicos y bacteriológicos), y muy esporádicamente se han hecho muestreos ocasionales y puntuales de metales pesados.

1.1 Justificación.

Al hacer un análisis de la problemática de la contaminación del agua en el área metropolitana de la ciudad de Monterrey (AMM), González (1995), menciona que ésta

ha sido una zona de extenso crecimiento industrial y poblacional en las últimas décadas lo que ha redundado en dramáticos aumentos de la demanda de servicios de agua potable y drenaje que no han sido satisfechos; ésta zona se distingue también por la relativa escasez de sus mantos acuíferos y las bajas precipitaciones pluviales. Agrega que, por otro lado, el acelerado desarrollo local también ha significado mayores montos de desechos domésticos e industriales que han llevado a graves niveles de contaminación de los cuerpos receptores locales. Las aguas residuales que se generan en esa área se encuentran contaminadas por diversas sustancias provenientes de una industria altamente diversificada, entre ellas se enlistan altas concentraciones de metales pesados como níquel, plomo y mercurio. Salvo el tratamiento que algunas empresas dan a sus descargas residuales las aguas servidas del AMM no reciben tratamiento primario o secundario.

Para satisfacer esa alta demanda de agua el gobierno se ha visto en la necesidad de emprender grandes obras hidráulicas, entre ellas la más reciente y de mayor importancia, la construcción de la presa El Cuchillo, en el municipio de China, Nuevo León, la cual capta y almacena el agua de los escurrimientos del Río San Juan. Sin embargo, en los últimos meses se ha desatado una fuerte polémica entre los estados de Nuevo León y Tamaulipas por los derechos legales de uso del agua, ya que anteriormente el agua del Río San Juan se almacenaba en la presa Marte R. Gómez del vecino estado para propósitos agrícolas principalmente.

Salta a la vista la importancia de la cantidad y la calidad del agua del Río San Juan ya que se destina para muchos usos diferentes, entre ellos para consumo humano, riego, recreación y pesca (usos alternativos de la presa El Cuchillo)

1.2 Objetivos.

El presente trabajo de investigación tiene como propósito hacer un estudio sistemático de la calidad del agua del Río San Juan, dando especial énfasis a la contaminación por metales pesados ya que por lo que se pudo determinar no existen estudios sistemáticos, tan sólo puntuales, de la contaminación por estos agentes químicos.

Los objetivos específicos que se plantearon son los siguientes:

- 1.1 Identificar los diferentes contaminantes mediante la comparación de sus concentraciones con las normas en vigor.
- 1.2 Analizar las variaciones temporales y espaciales de las concentraciones de los contaminantes.
- 1.3 Desarrollar modelos estadísticos que permitan caracterizar el comportamiento de los contaminantes en el río.

A pesar de que el Gobierno del Estado de Nuevo León implementó en los últimos años un programa de saneamiento de este río a través del **Plan Monterrey IV**, la justificación para el desarrollo de este trabajo parte de la hipótesis de que dicho programa

de saneamiento no ha podido erradicar por completo los problemas de contaminación en este río.

2. ANTECEDENTES

El agua es el principal compuesto que existe en la naturaleza, es el soporte de la vida. Desde el punto de vista ecológico, el agua y la radiación solar son los principales factores que dan origen a las cadenas tróficas a partir de la fotosíntesis.

Chanlett (1973), menciona que de la gran cantidad de agua que existe en el planeta sólo el 0.5% está disponible para uso del hombre. Por su parte, Vizcaino (1986), indica que el 97% del agua se encuentra en los océanos, y que el agua dulce representa sólo el 2.85%, sin embargo, la mayor parte de ella se encuentra en los casquetes polares y un 0.25% se encuentra en la atmósfera, por lo que el agua dulce disponible para uso humano representa sólo el 0.53%.

Turk *et al* (1988), definen a la **calidad del agua** como su aptitud para los usos benéficos a que se ha venido dedicando en el pasado, es decir, para consumo humano y de los animales, para riego, recreación y soporte de una vida acuática sana.

Desafortunadamente, el hombre ha utilizado el agua como un vehículo de los desechos que genera, iniciando así el proceso de contaminación de los recursos hidrológicos disponibles para uso humano.

Tebutt (1994), describe las propiedades del agua, y las divide en propiedades físicas, químicas y biológicas. Entre las propiedades físicas menciona a las siguientes:

1. **Temperatura.-** Importante por su efecto en otras propiedades, por ejemplo, aceleración de reacciones químicas, reducción de la solubilidad de los gases, intensificación de sabores y olores, etc.
2. **Sabor y olor.-** Debidos a las impurezas disueltas, frecuentemente de naturaleza orgánica, como fenoles y clorofenoles.
3. **Color.-** Aún el agua pura no es incolora; es necesario diferenciar entre el color verdadero debido al material en solución y el color aparente debido a la materia suspendida.
4. **Turbidez -** Es causada por partículas de arcilla y limo, descargas de agua residual, desechos industriales o la presencia de numerosos microorganismos.
5. **Sólidos.-** Pueden estar presentes en suspensión, en solución o en ambos y se dividen en materia orgánica e inorgánica. Los sólidos disueltos totales se deben a materiales solubles, mientras que los sólidos en suspensión son partículas discretas que se pueden medir al filtrar una muestra a través de un papel fino. Los sólidos sedimentables son aquellos removidos en un procedimiento estándar de sedimentación con el uso de un cilindro de 1 litro.
6. **Conductividad eléctrica.-** Esta depende de la cantidad de sales disueltas presentes y para soluciones diluidas es aproximadamente proporcional al contenido de sólidos disueltos totales.

En cuanto a las características químicas las enumera y describe de la siguiente forma:

1. **pH.-** Mide la intensidad de acidez o alcalinidad de una muestra, aunque en realidad mide la concentración de iones de hidrógeno presentes. El pH controla muchas reacciones químicas y la actividad biológica normalmente se restringe a una escala bastante estrecha de pH entre 6 y 8.

2. **Alcalinidad.-** Es debida a la presencia de bicarbonatos, carbonatos, o hidróxidos; la mayoría de la alcalinidad natural de las aguas la causa el bicarbonato. La alcalinidad es útil en el agua natural y en las aguas residuales porque proporciona un amortiguamiento para resistir los cambios en el pH.

3. **Dureza.-** Es la propiedad del agua que evita que el jabón haga espuma y produce incrustaciones en los sistemas de agua caliente. Es debida principalmente a los iones metálicos Ca^{++} y Mg^{++} aunque también son responsables Fe^{++} y Sr^{++} . Los metales normalmente están asociados con HCO_3^- , SO_4^- , Cl^- y NO_3^- .

4. **Oxígeno Disuelto.-** Su presencia es esencial para mantener las formas superiores de vida y el efecto de una descarga de desechos en un río se determina principalmente por el balance de oxígeno del sistema.

5. **Demanda de Oxígeno.-** Los compuestos orgánicos por lo general son inestables y pueden oxidarse biológica o químicamente para obtener productos finales estables, relativamente inertes, tales como CO_2 , NO_3^- y H_2O . La indicación del contenido orgánico de un desecho se obtiene al medir la cantidad de oxígeno que se requiere para su estabilización.

6. Nitrógeno.- Es un elemento importante ya que las reacciones biológicas sólo pueden efectuarse en presencia de suficiente nitrógeno. Se presenta en cuatro formas principales: orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos.

7. Cloruros.- Son responsables del sabor salobre del agua, son indicadores de posible contaminación debido al contenido de cloruro de la orna.

Brooks *et al* (1992), por su parte señalan que entre las más importantes propiedades físicas del agua superficial están la concentración de sedimentos suspendidos, el nivel de contaminación térmica, y el nivel de oxígeno disuelto. Los sedimentos transportados pueden acarrear concentraciones importantes de nutrientes y metales pesados. El transporte de sedimentos de fósforo puede reducir la calidad química de las aguas superficiales lo que provoca cambios substanciales en los ecosistemas acuáticos. Cuando la carga de fósforo se incrementa, la eutroficación (proceso de enriquecimiento de nutrientes que provoca un crecimiento denso de algas) puede acelerarse. En muchos casos, las variaciones en los niveles de metales pesados (zinc, fierro, cobre, manganeso, plomo y cadmio) en una corriente están correlacionados con las variaciones de las concentraciones de sedimentos. Sobre la aparición de algunos elementos químicos en el agua, mencionan que el calcio es abundante en la mayoría de las aguas porque este es el constituyente principal de muchos tipos de rocas, especialmente piedra caliza. El calcio es uno de los principales iones que contribuyen a la dureza del agua, sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica. El magnesio es abundante en rocas ígneas y carbonatadas, como la piedra caliza y la dolomita; si sus concentraciones son superiores al rango de

100-400 mg/l, el magnesio puede ser tóxico a algunos peces. El sodio es abundante en rocas ígneas y sedimentarias. Las fuentes de potasio incluye rocas ígneas, arcillas y material glacial; cuando el potasio excede el nivel de 400 mg/l puede causar la muerte de algunos peces. El manganeso se encuentra en las rocas ígneas; la concentración de manganeso raramente excede de 1 mg/l en aguas no perturbadas.

A grandes rasgos la contaminación del agua tiene su origen en dos tipos de fuentes: las puntuales y las no puntuales. La contaminación por fuentes puntuales es aquella que se da en ciertos sitios específicos, como lo son las descargas de aguas residuales domésticas o industriales y puede ser localizada y controlada con relativa facilidad. En cambio, la contaminación por fuentes no puntuales es la que se dá en superficies extensas, es más difusa, difícil de localizar, evaluar y controlar; como ejemplos de contaminación no puntual tenemos la ocasionada por la agricultura, la ganadería y la forestería, así como el lavado de materiales desde las partes altas de las cuencas a causa de la erosión.

Andreoli (1993), al hablar sobre los efectos de la agricultura señala entre otras cosa que la llamada **agricultura industrial**, rotulada de **moderna o avanzada** por sus seguidores, ha presentado inadecuaciones ecológicas, económicas y sociales, por no responder a su esencia más obvia: la agricultura como un intrincado proceso biológico dictado por la naturaleza y no como un mero proceso físico, químico y económico a tono con los intereses inmediatistas del hombre. La interrelación de las actividades agrícolas e

industriales, producida por la dependencia de los productos agrícolas como materias primas, incorporó la lógica industrial en el medio rural, obligando al productor a seguir patrones industriales preestablecidos. Agrega que la producción agrosilvopastoril integrada dentro de las fincas fue substituída por la reducción del número de agentes biológicos, que determinó principalmente en las áreas de monocultivo, una gran simplificación de estos sistemas. Una inmensa diversidad de especies que garantizaban la homeostásis de los agroecosistemas fue substituída por pocas especies que representan las etapas iniciales de la sucesión ecológica, creando sistemas muy inestables, sujetos a grandes alteraciones biológicas y reduciendo la capacidad de recibir agua y nutrientes, aumentando por lo tanto las pérdidas.

Por su parte, Rickert (1993), enumera los siguientes perjuicios de la agricultura a la calidad del agua: aumento de la temperatura, erosión/sedimentación, salinidad, calidad sanitaria, residuos orgánicos degradables, enriquecimiento de nutrientes, sustancias químicas tóxicas (microelementos residuales y sustancias residuales sintéticas) y nitratos.

Joly (1993). menciona que bajo condiciones naturales, los suelos y la vegetación pierden una parte de los nutrientes por los procesos de lixiviación, volatilización y escorrentía, y que los sistemas de cultivo acentúan muy fuertemente el fenómeno. Añade que los riesgos ambientales causados por la pérdida de vegetación, acumulación tóxica de nutrientes vegetales y la degradación de la fertilidad del suelo causada por el agotamiento de los nutrientes para apoyar el aumento a la productividad son causa creciente de

preocupación. El impacto del manejo de los nutrientes en el ambiente varía enormemente con el nivel de intensificación y el status del desarrollo agrícola.

Núñez (1973), explica que los efectos de los fertilizantes sobre la calidad del agua son: a) la eutroficación, como consecuencia del aumento en la concentración de nitratos y fosfatos en las aguas, que favorecen la multiplicación y desarrollo de la flora acuática, abatiendo los niveles de oxígeno en las aguas, en perjuicio de los peces, además la descomposición de los materiales vegetales puede dar color, olor y otras propiedades desagradables, y b) el alto contenido de nitratos en el agua usada para consumo doméstico, puede causar metahemoglobinemia en niños de corta edad y en el ganado.

Platts (1989, citado por US-EPA, 1993), enumera algunos de los efectos del sobrepastoreo sobre los recursos riparios y acuáticos, entre ellos: entrada de contaminantes (por ejemplo sedimentos) al agua provenientes de las tierras de pastoreo, incremento de la contaminación fecal, cambios en la morfología del caual del río (aumento en la anchura y disminución de la profundidad), cambios en la periodicidad y magnitud de los eventos del flujo de la corriente debidos a cambios en la cobertura vegetal, incremento en la temperatura del agua, incremento de la erosión hídrica y eólica de las riberas y los suelos del cauce por la pérdida de la cobertura vegetal, eliminación de la vegetación riparia, cambios en la composición de especies riparias, decremento en el vigor de las plantas, eliminación de comunidades riparias y otros más.

El Departamento de Recursos Naturales de Michigan (MDNR, 1994), menciona que las prácticas de manejo de las tierras forestales determinan si los bosques pueden permanecer saludables y productivos a perpetuidad; agrega que los bosques saludables estables y productivos, están estrechamente asociados con la alta calidad del agua tanto superficial como subterránea. Señala que las prácticas de manejo forestal pueden causar erosión, y son una seria amenaza a la calidad del agua superficial; además de ello la calidad del agua se puede degradar por la introducción de contaminantes tales como sedimentos, nutrientes, sustancias químicas y calor.

En virtud de que el presente trabajo hace énfasis en la contaminación por metales pesados, es conveniente hacer una revisión de los aspectos más importantes sobre este particular.

Murayama *et al* (1975), mencionan que en los años recientes se ha incrementado el interés sobre la descarga de metales pesados y otros elementos traza al ambiente acuático. Añaden que los metales pueden ser concentrados a niveles peligrosos por microorganismos, peces y plantas en la cadena alimenticia. Pueden además acumularse en los sedimentos de las corrientes y liberados cuando los depósitos son removidos durante los períodos de grandes avenidas de los ríos. Ciertos metales como el mercurio pueden ser transformados por microorganismos en formas orgánicas metálicas mucho más peligrosas. La toxicidad de los metales a la vida acuática depende de los metales

presentes, dureza del agua, pH, los efectos sinérgicos de los diferentes metales y otros factores aún desconocidos.

Fergusson (1990), señala que los metales pesados en la hidrósfera provienen de fuentes naturales y antropogénicas. Los materiales naturales entran a la hidrósfera provenientes de la atmósfera y de los escurrimientos; la atmósfera contribuye con la deposición de polvos de silicato, emisiones volcánicas, brisa marina, así como emisiones biológicas y la combustión. Por su parte algunas de las fuentes antropogénicas son: las industrias, la producción y uso de compuestos y materiales conteniendo metales pesados, la quema de combustibles fósiles, escurrimientos urbanos, aguas residuales y escurrimientos de áreas agrícolas. Agrega que los niveles de metales pesados han sido arbitrariamente divididos en dos componentes: uno llamado filtrable o disuelto ($< 0.45 \mu\text{m}$), y materia suspendida, la cual eventualmente produce sedimentos. Algunos factores que determinan la partición de los metales en sus fases sólida y disuelta son: a) la especiación, es decir, la forma química del metal, la cual es influenciada por el pH, las condiciones redox, y que otras especies están presentes; b) la toma por la biota, ya sea por ingestión o absorción; c) condiciones redox, y d) la precipitación como especies insolubles, particularmente cuando las concentraciones de metales son altas. Finalmente señalan que los niveles de elementos traza o metales pesados en ríos es a menudo mayor que en el océano, porque son utilizados para descargar en ellos aguas residuales lo que ha provocado un mayor interés sobre la toxicidad de estos elementos a la vida acuática.

Según Galvao y Corey (1987a), el arsénico está presente en pequeñas cantidades en toda la corteza terrestre, además puede estar presente en el agua, en el aire y los seres vivos, especialmente los marinos. El arsénico que se encuentra en la naturaleza es en gran parte pentavalente, el cual es poco tóxico. El arsénico de origen industrial se da bajo la forma trivalente, que es mucho más tóxica para el organismo. Su importancia, además de su uso industrial, se debe a su presencia natural en grandes concentraciones en el agua de determinadas regiones y a su empleo como medicamento. Los desechos industriales pueden acumular una cantidad importante de arsénico en el agua de los ríos y mientras ésta no sufra tratamiento adecuado y sea usada para abastecimiento público puede originar daños a la población.

Maher (1985), reporta que en mediciones realizadas en organismos marinos de las aguas costeras del sur de Australia se ha encontrado altas concentraciones de arsénico. Añade que las aguas marinas usualmente contienen entre 1 y 3 $\mu\text{g/l}$ de arsénico, pero que altas concentraciones pueden ocurrir en aguas afectadas por fuentes localizadas. Los valores de concentración encontrados fueron similares a los encontrados en aguas costeras no contaminadas, por lo que concluye que las altas concentraciones de arsénico que se observaron en los organismos marinos del sur de Australia, no son debidas a fuentes localizadas sino a la capacidad de los mismos para concentrar dicho elemento en sus cuerpos, proveniente del agua de mar o de sus fuentes de alimento.

Galvao y Corey (1987b), al hablar del mercurio señalan que este proviene de los escapes industriales, del empleo de combustibles fósiles y de la desgasificación natural de la corteza terrestre y de los océanos. Los factores físicos o químicos como temperatura, pH, potencial redox, afinidades químicas de los materiales orgánicos y la tensión del oxígeno en el medio acuático, influyen en los procesos de formación de vapor de mercurio y de las formas orgánicas del mismo. En ocasiones donde exista una contaminación ambiental importante, especialmente de aguas, todas aquellas personas que habiten ese entorno y que se alimenten de su fauna tienen un riesgo significativo de desarrollar una intoxicación crónica.

Stolzenburg *et al* (1986), citan cuatro casos bien conocidos de contaminación con metilmercurio en el ambiente acuático: Minamata y Niigata en Japón, el Lago St. Clair en Michigan-Ontario, y en el sistema English-Wabigoon en el noroeste de Ontario; en todos los casos la contaminación fue causada por descargas industriales conteniendo mercurio. Añaden que el metilmercurio puede ser absorbido del agua por organismos y unido fuertemente a detritus orgánico. El mercurio en peces está casi por completo en la forma de metilmercurio debido a que el éste es mucho más lipofílico que el mercurio inorgánico. La toma de metilmercurio por los seres humanos es primordialmente a través de la cadena alimenticia (por el fenómeno de **Biomagnificación**) más que a través de la ingestión directa de agua.

En cuanto al cromo, Galvao y Corey (1987c), mencionan que es un metal que se encuentra en la naturaleza y está distribuido por toda la corteza terrestre. Puede presentarse en la forma iónica con valencia +2, +3 o +6; la forma trivalente es esencial para el metabolismo humano y la forma hexavalente es tóxica. Añaden que existen indicios de que el cromo puede acumularse en diversos animales y vegetales, principalmente acuáticos. En los ríos, las concentraciones naturales de cromo varían de 0.1 a 5 $\mu\text{g/l}$, sin embargo, las actividades antropogénicas y efluentes industriales son los principales contaminantes de las aguas llegando a elevar las concentraciones de cromo por sobre 25 $\mu\text{g/l}$.

Billard y Roubard (1985), señalan que las pruebas que se han hecho para estimar los efectos de los contaminantes sobre los peces, han mostrado que el desarrollo de las etapas tempranas (embrionaria y juvenil) son las más sensibles a los productos tóxicos. La gametogénesis ha probado ser muy sensible a las variaciones de temperatura y de microcontaminantes con sus implicaciones en la supervivencia de los gametos y la fertilización. Los resultados de su estudio muestran que la fertilización de la trucha arcoiris (*Salmo gairdneri*) fue afectada por el efecto tóxico del cromo y el fierro, mientras que el cobre tuvo un efecto favorable.

Saar y Weber (1980), revelan que el plomo (II) en los suelos y cuerpos de agua proviene de la desintegración de la roca madre así como de fuentes artificiales como las emisiones industriales, gasolina con plomo e insecticidas; independientemente de la

frente al plomo (II) puede ser tóxico a plantas y animales. Varios factores controlan el movimiento del plomo; los iones inorgánicos como fosfatos y carbonatos pueden controlar su movimiento. Los suelos y los cuerpos de agua contienen materia orgánica que tiene además la capacidad de intercambiar cationes y a menudo, más específicamente, la habilidad para quelatar iones metálicos divalentes.

Por su parte, Corey y Galvao (1989), indican que el plomo se encuentra en forma natural en la corteza terrestre de un modo relativamente abundante. El agua, al igual que el aire, se transforma en una fuente de contaminación para la flora y la fauna así como para el hombre, en la medida que sea contaminada por actividades antropogénicas. Este metal puede acumularse en grandes concentraciones en una gran variedad de organismos como moluscos, crustáceos, peces, aves, mamíferos y plantas.

Benes *et al* (1985), en un trabajo realizado en ríos de Checoslovaquia, estudiaron la emigración y especiación del plomo en aguas superficiales afectadas por depósitos atmosféricos provenientes de industrias de fundición, por minería y por escurrimiento urbano. Encontraron tres formas físico-químicas de plomo: disuelto-libre (como Pb^{2+} , $PbOH^+$ y $PbCO_3$), disuelto-ligado (a coloides o fuertes complejos) y particulado (retenido por un filtro de membrana de 0.4 μm). Las formas libres representaron una parte significativa de la entrada de plomo de los depósitos atmosféricos, mientras que la mayoría del plomo proveniente del escurrimiento urbano y de la minería se encontró en la forma particulada o ligada.

Maessen *et al* (1985), mencionan que la naturaleza tóxica del plomo es bien conocida, y que es una toxina activa y acumulativa que afecta a la salud física y mental, y que ha sido asociada con desórdenes como hiperactividad, hipertensión, retraso mental y disfunciones motoras.

Por otro lado, los mismos autores, añaden que aunque el cobre es un micronutriente esencial, en elevadas concentraciones es un veneno hepático y gastrointestinal mencionando que en Canadá los límites máximos permitidos para plomo y cobre son de 0.05 y 1 mg/l, respectivamente.

Panday *et al* (1985), señalan que las fuentes potenciales de cobre en descargas industriales, incluyen el lavado de metales, papel, producción de pulpa de madera, fabricación de fertilizantes, etc. Una toma excesiva de cobre resulta en su acumulación en el hígado. El envenenamiento crónico con cobre está relacionado a hemacromatosis, produciendo además diarrea. Es además tóxico para los peces cuando su contenido es suficientemente pequeño en aguas naturales.

Winner (1985), estudió los efectos de la dureza del agua y del ácido húmico sobre la toxicidad aguda y crónica del cobre a *Daphnia pulex* y *D. magna*. La dureza tuvo poco efecto tanto en la toxicidad aguda (a 3 días) o crónica (42 días). El ácido húmico redujo significativamente tanto la toxicidad aguda como la crónica cuando se agregó a aguas con

durezas de 58, 115 y 230 mg/l como CaCO₃. El efecto, por unidad de ácido húmico, sobre la toxicidad crónica fue muy similar para aguas suaves y medias, pero menor en aguas duras. El cobre fue crónicamente más tóxico en agua dura.

En cuanto al cadmio, Lagerwerff y Brower (1972), comentan que este metal está considerado como un riesgo para la salud humana. Entre los padecimientos que provoca en el hombre se encuentran anemia, hipertensión, osteomalacia, proteinuria y enfisema. Al cadmio se le ha identificado como un contaminante ambiental presente en parte por razones naturales y en parte debido a actividades industriales.

Buckley *et al* (1985), agregan que la toxicidad del cadmio a los organismos acuáticos varía con la forma química y las especies. Las diferentes especies químicas de cadmio que constituyen la concentración total del mismo en aguas naturales se puede determinar por la formación de complejos y reacciones de absorción involucrando al pH, dureza, alcalinidad y sustancias orgánicas. Es generalmente aceptado que el ión libre de cadmio es la especie más tóxica a los organismos acuáticos, y las menos tóxicas son las formas complejas y las absorbidas.

Selby *et al* (1985), indican que la exposición crónica a niveles bajos de cadmio a menudo resultan, no sólo en cambios en la estructura del sistema (tamaños de las poblaciones), sino además en sus funciones (desplazamiento o sustitución de rutas tróficas). En aguas duras, sin embargo, la toxicidad del cadmio es reducida, tanto por la

competencia con calcio en las membranas de las células como por la reducción de la solubilidad del cadmio por los carbonatos.

Whitlow y Rice (1985), señalan que la química acuática de la plata no está bien entendida a pesar de su alta toxicidad a los organismos de agua dulce, debido a que en los metales traza disueltos las especies catiónicas libres generalmente están más disponibles para ser absorbidos por la biota acuática. Agregan que la toxicidad crónica de la plata a los organismos acuáticos puede ocurrir a concentraciones de plata total tan bajas como 0.12 ppb, esto en ausencia de adecuados agentes que formen complejos con dicho elemento.

Krause y Storer (1982), mencionan que el bario, un metal blanco-amarillento del grupo de los alcalinotérreos, tiene propiedades físicas y químicas similares al calcio y el magnesio. Agregan que este elemento ocurre como un catión divalente (Ba^{2+}) que en la naturaleza se combina con sulfatos y carbonatos para formar sulfato de bario (barita) y carbonato de bario.

Miller *et al* (1984), señalan que aunque el aluminio es uno de los elementos más abundantes en la tierra al parecer no es necesario para el sostenimiento de la vida. Agregan que recientes estudios han mostrado que la acidificación de los lagos y corrientes por la lluvia ácida, ha movilizó aluminio desde el suelo al medio acuático. Esos elevados niveles de aluminio en el agua pueden tener serias implicaciones para los

peces que habitan esas aguas, así como para las aves cuya dieta es a base de insectos de las corrientes y lagos afectados. Mencionan además que los resultados de estudios en los cuales animales fueron expuestos a aluminio bajo condiciones controladas han demostrado que existe una relación entre ciertos desórdenes neuropatológicos y la exposición a este elemento.

Abaychi y DouAbul (1985), desarrollaron un estudio sobre la presencia de metales traza en el Shatt Al-Arab, en Iraq. En términos generales encontraron que las concentraciones de metales fueron muy bajas, a excepción del níquel y el vanadio, cuyas altas concentraciones fueron atribuidas al substrato rico en petróleo de la región, por lo que concluyen que el contenido de metales en este río depende de la abundancia de metales en las rocas y el suelo de la cuenca de captación y por su movilidad geoquímica.

Nojiri *et al* (1985), llevaron a cabo un estudio sobre la concentración de metales traza en el Lago Mashu, un profundo lago oligotrófico en Hokkaido, Japón, y famoso por ser el más transparente del mundo. Las concentraciones encontradas fueron sumamente bajas. Se estudió la conveniencia de utilizar este lago como un sitio de monitoreo de referencia para evaluar problemas globales de contaminación ambiental a través de la comparación con datos de lagos de otras partes del mundo.

Okay *et al* (1985), estudiaron la contaminación por boro en el Río Simav en Turquía, donde existen minas de boro y grandes reservas de colemanita y ulexita. Las

aguas residuales provenientes de las minas están siendo descargadas al río, con el cual se irrigan aproximadamente 33,000 has. de tierras agrícolas. Estas tierras están presentando graves problemas de contaminación por boro.

Kumar (1989), en un estudio sobre la contaminación por metales pesados en los sedimentos del Río Gomti, en Utar Pradesh, India, encontró en la fracción de arcilla altas concentraciones de cobre, manganeso, plomo, y fosfatos en comparación con valores de referencia. El fierro, el cobalto y el níquel no mostraron incremento alguno y el cadmio no se encontró dentro de los límites de detección. Los fosfatos mostraron una alta correlación positiva con cobre, plomo, zinc y manganeso; concluyendo que los altos niveles de algunos metales y fosfatos se deben a las descargas municipales a través del drenaje.

El Hassanin *et al* (1993), investigaron la magnitud de la contaminación de los suelos arenosos en las áreas de Abu Rawash y El-Gabal El-Asfar, Egipto, por plomo, cadmio, zinc y boro, las cuales han sido irrigadas con aguas residuales por más de 67 años. Los resultados revelaron que los períodos prolongados de irrigación están asociados con aumentos significativos en las formas disponible y total de estos metales. El plomo, el cadmio y el zinc tienden a acumularse en las capas superficiales, mientras que el boro se incrementa con la profundidad.

Boughriet *et al* (1992), desarrollaron un estudio general del manganeso y el zinc en sus formas disueltas y particulada en las aguas del Río Sena, su estuario y la bahía del mismo río (en el norte de Francia). En este trabajo se consideraron los diferentes parámetros (salinidad, pH, temperatura, y sólidos suspendidos totales) que pueden influir en la distribución de metales en el estuario. Los resultados muestran que las concentraciones de manganeso y zinc disueltos son influenciadas principalmente por la salinidad.

Parker *et al* (1978), realizaron un estudio en el noreste de Indiana, EUA, para comparar los niveles de concentración de metales pesados en un ecosistema forestal urbano y uno rural. Encontraron que los niveles de cadmio, zinc, cobre y plomo fueron significativamente mayores en los suelos y la vegetación en el sitio urbano comparado con un sistema similar en un área rural a 65 km. de distancia. Dichas concentraciones fueron desde 20 hasta 100 veces mayores en el área urbana que en la rural.

Machorro *et al* (1995), evaluaron la contaminación por metales pesados de los sedimentos del lago Izabal en Guatemala, encontrando contenidos anómalos de cobalto, níquel, plomo y cromo en comparación con otros lagos. Señalan que una fuerte correlación entre dos elementos sugiere su combinación o enlace en los sedimentos. El cobre, zinc, vanadio, titanio y manganeso mostraron una correlación positiva con hierro, indicando su incorporación al hidróxido de hierro. Otra alta correlación observada fue níquel-cobre, lo que puede reflejar su asociación con arcillas y materia orgánica las cuales

son abundantes en los sedimentos, sin embargo, estas relaciones no pudieron ser establecidas dado que estos componentes no fueron determinados. Finalmente concluyen que la presencia de metales pesados está relacionada con la geología regional.

Después de hacer una revisión del panorama mundial sobre la investigación de la contaminación por metales pesados en el agua, suelo y componentes bióticos, a continuación se detallan algunos estudios específicos para México.

Stawinski y Monroy (1982), colectaron muestras de lirio acuático en once lugares de la República Mexicana, encontrando que esta planta actúa como un filtro de metales tales como arsénico, mercurio, plomo, cadmio y cobre; encontraron que el lirio acuático acumuló mercurio y plomo en cantidades consideradas tóxicas por las normas mundiales para alimentos. Dichos autores determinaron cantidades tales como 6.15 mg/kg de planta seca de mercurio y 5.5 mg/kg de planta seca de plomo, encontrando además que los metales se acumulan en mayor proporción en raíz y tallo.

Rosas *et al* (1980), mediante bioensayos estáticos determinaron el grado de acumulación y traslocación del cadmio en el lirio acuático en muestras tomadas del canal de Xochimilco, y de la Presa Endho en el Estado de Hidalgo; encontraron que el vegetal concentra el metal de 10^3 a 10^4 veces el nivel de cadmio presente en el agua, acumulando gran parte de él (70-80%) a nivel de raíz.

Toledo *et al* (1989), en su estudio sobre la contaminación del río Coatzacoalcos encontraron que los sedimentos y organismos evidencian una alta y constante contaminación bacteriana, encontraron además altas concentraciones de metales tales como fierro, níquel, zinc, cobre, manganeso, cadmio, cromo, cobalto, plomo y mercurio, tanto en sedimentos como en organismos. Además de ello se encontró hidrocarburos como pireno, perileno, acenafteno, acenaftileno, fluoreno, fenantreno, antraceno, y otros como hopanos y esteranos, breas, pesticidas como el DDT, así como compuestos fenólicos y detergentes.

Báez *et al* (1980), determinaron las concentraciones de plomo, cadmio y cromo en la precipitación pluvial obtenida de siete estaciones de muestreo localizadas en diferentes partes del país, encontrando que los niveles de plomo en el agua de lluvia aumentan con la densidad de los vehículos y que, en general, se observa que la cantidad de metales presentes en el agua de lluvia se asocia al grado de contaminación atmosférica.

Gersberg y Trindade (1989), encontraron que a pesar del flujo continuo de agua de drenaje no tratada que contiene metales pesados en la ciudad de Tijuana, Baja California, que desembocan en el Río Tijuana y su estuario, únicamente la concentración de cadmio parece ser elevada en sedimentos tanto del río como en los sitios al sur del estuario. En el pescado, únicamente el plomo está presente a un nivel mayor del establecido por los estándares internacionales, pero no parece representar un riesgo significativo para la salud.

Albert y Badillo (1986), cuantificaron las concentraciones de plomo y zinc en muestras de peces y plantas del Río Blanco en Veracruz. Los resultados para peces fluctuaron entre 0.3 y 12.3 μg de plomo/g de muestra y para zinc entre 3.6 y 59.7 $\mu\text{g/g}$. Para las plantas, el contenido de plomo fue de 7.3 a 13.4 $\mu\text{g/g}$ y de 66.48 a 71.9 $\mu\text{g/g}$ para zinc.

Ponce y Botello (1991), evaluaron el comportamiento de los niveles de metales pesados (cobre, níquel, cobalto, cromo, plomo, cadmio y zinc) en sedimentos y organismos bivalvos (*Crassostrea virginica*, Gmelin, 1791) de la Laguna de Términos en Campeche en el periodo 1985-1986. Los resultados mostraron que la concentración total de metales fue mayor en el lado oeste de la laguna con excepción del cadmio y del plomo, los cuales fueron mas altos en la porción este del sistema. Para el ostión los niveles de metales se incrementaron notablemente en la época de lluvias, exceptuando al plomo el cual presenta sus valores máximos durante la época de “nortes”.

Los gobiernos de México y de Estados Unidos de Norteamérica acordaron llevar a cabo, a través de la IWBC-CILA (1994), un estudio sobre la presencia de sustancias tóxicas en el Río Bravo. Los resultados de dicho estudio mostraron que existen pocos problemas de tóxicos en la corriente principal ya que sólo 5 sustancias excedieron los niveles permitidos según las normas de los EUA para agua, 8 en sedimentos y 12 en tejidos. Por México, se identificaron 6 sustancias tóxicas en la corriente principal

excediendo las normas mexicanas para protección de la vida acuática. En las pruebas de toxicidad ocurrieron efectos adversos significativos en sólo 2 de 114 determinaciones. Problemas más evidentes fueron detectados en los tributarios, ya que de acuerdo a los resultados de EUA, 17 sustancias tóxicas excedieron las normas para agua, 15 en sedimentos y 8 en tejidos; además en muestras provenientes de 14 de 26 tributarios produjeron significativos efectos adversos en por lo menos una fase de las pruebas de toxicidad. Los resultados obtenidos por México indican 8 sustancias potencialmente tóxicas que exceden las normas.

Goodell *et al* (1995), seleccionaron una parte de los datos obtenidos en el estudio binacional de la IBWC-CILA sobre el Río Bravo, los compararon con estudios previos y desarrollaron una evaluación independiente acerca de la carga tóxica. Los datos, que corresponden a la región El Paso-Ciudad Juárez, se refieren a las concentraciones de metales pesados de 6 muestras. De su análisis concluyen que existe una significativa anomalía de metales traza en los sedimentos; el arsénico está presente en grandes cantidades (> 40 mg/l) en el agua superficial. El cromo en el agua es alto en los reservorios de la parte central de Nuevo México, pero bajo aguas abajo, y el cobre sigue un comportamiento similar. El plomo en agua es alto aguas arriba pero bajo en el área urbanizada. El mercurio fue reconocido como un contaminante del agua, sedimentos y peces en los reservorios de la parte central de Nuevo México. El selenio en el agua y sedimentos tiene altos valores en el área agrícola, así como el zinc. Finalmente señala que la cautela de las agencias reguladoras (IBWC-CILA) para reconocer las anomalías de

metales pesados de potencial peligro ambiental proyecta un falso sentido de seguridad al público.

Schmand (1995), al abordar la problemática del agua y el desarrollo en la cuenca del Río Bravo, señala que la escasez del agua ha llegado a un punto crítico en los estados fronterizos de México, y agrega que si El Paso y Ciudad Juárez continúan consumiendo agua del subsuelo al ritmo actual, los acuíferos del área se agotarán en los próximos 20 años. Otro problema es el elevado crecimiento de la población como resultado del establecimiento de muchas industrias maquiladoras sin que se hayan descubierto nuevas fuentes de agua para apoyar este crecimiento. Además de ello, existe una pérdida del hábitat y de la fauna silvestre, ya que la agricultura de riego y el crecimiento socio-económico han impactado la integridad ecológica de la cuenca. La irrigación de tierras ha generado daños ambientales tales como la disminución de la calidad del agua, eutroficación, salinización, modificación del suelo, y destrucción de hábitats acuáticos. Finalmente señala que el río y sus tributarios sufren de una extensa contaminación, creando serios problemas de salud pública, entre ellos enfermedades gastrointestinales, shigellosis, hepatitis A, cólera y posiblemente efectos como la anencefalia.

Resulta conveniente ahora hacer una revisión de los antecedentes sobre el Río San Juan, particularmente en lo que se refiere a los estudios sobre la contaminación por metales pesados.

Algunos de los pocos estudios que se han desarrollado sobre la contaminación por metales pesados en el Río San Juan son los siguientes:

Kramar *et al* (1992), efectuaron un estudio en el periodo 1987 - 1988, sobre la contaminación de los sedimentos por metales pesados en el Río Santa Catarina, un importante afluente del Río San Juan. Observaron altas contaminaciones por fierro, cobre, zinc, plomo, cadmio y estaño. Las áreas más contaminadas fueron nuevamente muestreadas después de la ocurrencia del Huracán Gilberto encontrando que los contenidos de metales pesados se redujeron hasta en un factor de 30.

Vogel *et al* (1995), llevaron a cabo un estudio de la contaminación por metales pesados en el agua del Río Pesquería, otro importante afluente del Río San Juan, encontrando que el berilio, níquel, plomo, cadmio y antimonio exceden los criterios establecidos en las normas. El metal que excedió en más ocasiones la norma fue el níquel (96.61%) y en segundo término el cadmio (49.1%), concluyendo que las fuentes de contaminación de esos 5 metales son probablemente de origen antropogénico.

Villarreal (1983), en su estudio sobre los cambios en las comunidades de peces debidos a factores fisico-químicos del agua del Río San Juan, encontraron 41 especies de peces, siendo las más abundantes *Notropis jemezanus* (sardinita o Río Grande Shiner), *Gambusia affinis* (guayacón), *Notropis braytoni* (sardinita o Tamaulipas Shiner) y *Notropis lutrensis* (sardinita o Red Shiner), debido a sus amplios rangos de tolerancia

ambiental en salinidad y alcalinidad, añadiendo que la constante contaminación por descargas domésticas e industriales, adjunto a actividades mecánicas (obras hidráulicas) en la parte alta del río produjeron la desaparición de *Neotropis stramineus*, *Neotropis amabilis*, *Dionda episcopa* y *Campostoma anomalum*, debido a los cambios que provocaron éstos agentes físicos y químicos en los niveles de alcalinidad y salinidad. Por último, señala que los cambios que se detectan en los niveles de carbonatos de calcio y de cloruros marcan la influencia que presentan éstos en la tolerancia, movimientos, cambios en la distribución, abundancia, impacto, índice de diversidad de las especies y la composición de las comunidades icticas.

Villarreal *et al* (1986), en su estudio sobre la bioacumulación de metales pesados en peces del Río Santa Catarina, concluyeron que existe una notable acumulación de zinc y fierro en varias especies de éste río (*Poecilia formosa* y *Cichalosoma cyanoguttatum*), dado que la carga corporal de esos elementos es mucho mayor que los niveles encontrados en el agua, por lo que suponen que una gran cantidad de cambios biológicos ocurrirán en los peces de este río, por lo que una más detallada observación es necesaria.

Por último, Obregón (1987), en su investigación sobre la bioacumulación de plomo, cobre y fierro en varias especies de peces del Río San Juan, estableció que existe dicho fenómeno en las especies *Astyanax mexicanus*, *Notropis braytoni*, *Notropis jemezianus* y *Cichlasoma cyanoguttatus*, donde el análisis de proporción mostró que los

niveles de metales son altos y en algunos casos mucho mayor en el cuerpo del pez que en el agua.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del área de estudio

La cuenca del Río San Juan pertenece a la región hidrológica del Río Bravo (Región 24b) y cubre un área aproximada de 33,000 Km², correspondientes a los estados de Coahuila (40%), Nuevo León (57%) y Tamaulipas (3%); en Nuevo León tiene una superficie de 19,804.911 Km² (INEGI, 1986).

De los 51 municipios del estado de Nuevo León, 33 de ellos están enclavados en ésta cuenca, entre los que destacan los del área metropolitana de la ciudad de Monterrey, en los cuales vive el 92% de la población del estado. Estos municipios, también concentran el 98% de la actividad industrial, comercial y de servicios.

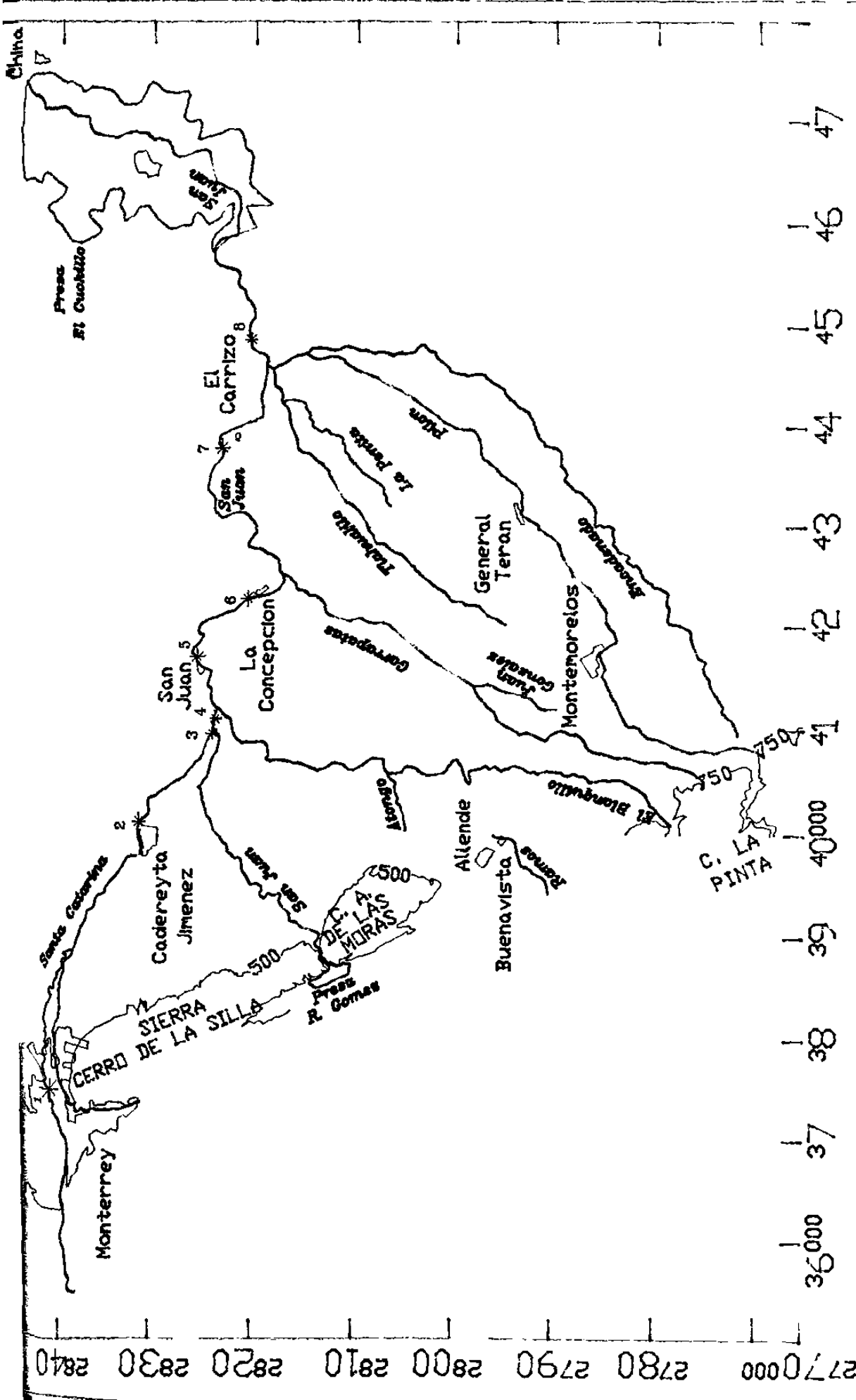
El Río San Juan tiene su origen en el Arroyo La Chueca, que recibe aportaciones de varios pequeños arroyos que bajan de la Sierra Madre Oriental. El arroyo baja en dirección sureste hasta la Presa Rodrigo Gómez (antes La Boca), y de aquí continúa con el nombre de San Juan, cambiando su dirección hacia el noreste y recibiendo por la izquierda las aportaciones del Río Santa Catarina, y por la derecha, las del Río Ramos. Más adelante recibe por la margen derecha las aguas del Arroyo Garrapatas, el Río Pilon y el Arroyo Mohinos; un poco más adelante recibe por la izquierda el aporte del Río Pesquería, aguas abajo de la presa "El Cuchillo" (INEGI, 1986).

Antes de terminar en el Río Bravo, el San Juan vierte sus aguas en la presa “El Cuchillo” en el estado de Nuevo León, y en la presa “Marte R. Gómez” en el estado de Tamaulipas.

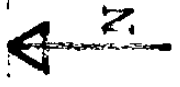
El área de estudio comprende un tramo del Río Santa Catarina, desde su salida de la ciudad de Monterrey, hasta su confluencia con el Río San Juan y desde este punto hasta la presa “El Cuchillo”, en el municipio de China N.L. En este tramo se seleccionaron ocho estaciones de muestreo, tres de ellas sobre el Río Santa Catarina y cinco sobre el Río San Juan. Estas estaciones se seleccionaron en base a la confluencia de los afluentes para ver el impacto de sus aportes, que se distribuyeran a distancias aproximadamente similares a lo largo del río, y a su facilidad de acceso. La ubicación geográfica de las estaciones de muestreo aparece en la Tabla 1 y en la Figura 1.

Tabla 1 . Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo.

ESTACION	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (msnm)
1	Las Adjuntas	25°40'	100°15'	500
2	Cadereyta	25°35'	100°00'	320
3	San Miguelito 1	25°30'	99°56'	300
4	San Miguelito 2	25°31'	99°53'	280
5	San Juan	25°32'	99°50'	270
6	Tepahuaje	25°30'	99°46'	250
7	El Carrizo	25°31'	99°37'	210
8	Las Enramadas	25°29'	99°30'	190



MAPA DE LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO



LEYENDA

- RID
- ESTACION
- PUBLACION
- SIERRA

ESCALA GRAFICA

0 5 10 20
Kilometros

3.2 Parámetros evaluados

Los parámetros evaluados se dividieron en físicos, químicos, bacteriológicos y metales pesados.

3.2.1 Parámetros físicos

Temperatura del aire, temperatura del agua, sólidos sedimentables, sólidos disueltos totales (volátiles y fijos), sólidos suspendidos totales (volátiles y fijos), turbiedad, color, y conductividad eléctrica.

3.2.2 Parámetros químicos

pH, grasas y aceites, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, fósforo total, detergentes, dureza de calcio, dureza de magnesio, dureza total, sulfatos, cloruros y alcalinidad.

3.2.3 Parámetros bacteriológicos

Coliformes fecales y coliformes totales.

3.2.4 Metales pesados

Aluminio, antimonio, arsénico, bario, berilio, boro, cadmio, calcio, cobalto, cobre, cromo, estaño, fierro, litio, magnesio, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plata, plomo, selenio, silicio y zinc.

3.3 Análisis de laboratorio

Los análisis de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, se llevaron a cabo en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Comisión Nacional del Agua en la ciudad de Monterrey N.L., mientras que los análisis de metales pesados se efectuaron en el Departamento de Farmacología y Toxicología de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León. En el Anexo A aparecen los métodos de laboratorio que se emplearon para hacer las determinaciones de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos. Por su parte, el Laboratorio de Residuos Peligrosos del Centro de Calidad Ambiental del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, realizó la determinación de pesticidas en muestras de agua tomadas en octubre y noviembre de 1995, así como en enero de 1996. El método analítico empleado fue el catalogado por la US-EPA como el método 8081.

No es propósito de este trabajo hacer una descripción pormenorizada de todos los métodos de laboratorio, sin embargo, dado el énfasis de esta investigación se hará una descripción más completa de la determinación de metales pesados.

3.3.1 Espectrofotometría de Emisión Atómica por Plasma de Argón

Inducido

Este método, clasificado con la clave 200.7 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de Norteamérica (EPA, 1992) se empleó para el análisis de los siguientes metales: Al, Sb, Ba, Be, B, Cd, Ca, Co, Cu, Cr, Fe, Sn, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Si, Ag y Zn. El procedimiento que se empleó fue el siguiente:

3.3.1.1 Digestión de muestras

Antes de proceder a trabajar en la evaluación de los parámetros se requiere eliminar la materia orgánica de las muestras de agua; esto se logró utilizando un horno de microondas marca **CEM MDS 200**, colocando 50 ml. de agua más 5 ml. de ácido nítrico concentrado calidad reactivo-analítico; se colocan en el vaso de reacción, se tapan y se introducen al horno. Terminado el proceso de digestión se vierte la muestra en frascos de polietileno y se procede a su análisis.

3.3.1.2 Determinación de metales

Para determinar la concentración de metales en las muestras de agua, se utilizó un espectrofotómetro de plasma de emisión simultáneo **Thermo Jarrell Ash PolyScan 61E**, utilizando las siguientes longitudes de onda para cada metal:

Tabla 2 . Longitudes de onda (nm) empleadas para la determinación de metales por espectrofotometría de plasma de argón inducido.

Al	308.215	Fe	259.940
Sb	206.838	Sn	189.989
Ba	493.409	Li	670.781
Be	313.041	Mg	279.078
B	243.728/2	Mn	257.610
Cd	228.802/2	Mo	202.0301
Ca	317.933	Ni	231.604/2
Co	228.616	Si	251.612
Cu	324.754	Ag	328.068
Cr	267.754	Zn	213.856

Tabla 3 . Parámetros del instrumento utilizado para espectrofotometría de emisión atómica por plasma de argón inducido.

RADIOFRECUENCIA UTILIZADA	1150 W
FLUJO DE BOMBA PERISTALTICA	100rpm
FLUJO DE GAS AUXILIAR	1.0 Mm
FLUJO DE GAS DE LA ANTORCHA	FLUJO ALTO
NUMERO DE ELEMENTOS	20
MODO DE CALIBRACION	CONCENTRACION
NUMERO DE REPETICIONES	3
TIEMPO DE LAVADO	40 SEGUNDOS
TIEMPO APROXIMADO DE ANALISIS	1.2 min

El aparato es ajustado primeramente utilizando un estándar de cobre y posteriormente con estándares de una concentración de 10 mg/l, en grupos recomendados por el fabricante, hasta completar su calibración; enseguida es analizado un estándar certificado QC Waste Wat RTM para comprobar la estandarización; después de este procedimiento se analizaron las muestras problema.

3.3.1.3 Determinación de As, Hg y Se

Para la determinación de estos metales se emplea el método de absorción atómica y la técnica de generación de hidruros (método 200.9 de la EPA). En esta técnica los hidruros gaseosos de ciertos metales son químicamente producidos por la adición de borohidruro en medio ácido, los cuales son arrastrados por una corriente de argón y atomizados en una celda calentada; esto produce una señal proporcional al analito presente en la muestra. Para este fin, se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica **Beckman mod 1272** provisto de los accesorios del sistema generador de hidruros. Los parámetros utilizados se ilustran en la Tabla 4.

Tabla 4 . Parámetros del espectrofotómetro de absorción atómica utilizado con la técnica de generación de hidruros para la determinación de As, Hg y Se.

LONGITUD DE ONDA (nm)	253.65
SLIT	10
ESCALA DE ABSORBANCIA	0.10
MEDICIÓN POR	ALTURA DE PICO
MODO DE OPERACION	CONTINUO

3.3.1.4 Determinación de Pb. Para el efecto se usó un espectrofotómetro de absorción atómica **Perkin Elmer Zeeman 5100** equipado con automuestreador y accesorio de horno de grafito con una sensibilidad de hasta 0.001 mg/l. bajo las condiciones especificadas en las Tablas 5 y 6.

Tabla 5 . Parámetros del espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito para la determinación del plomo.

LONGITUD DE ONDA (nm)	283.3
SLIT	0.7
TIEMPO DE INTEGRACION (seg)	5 SEGUNDOS
REPLICACIONES	2
TIPO DE MEDICION	AREA DE PICO
TUBOS DE GRAFITO PIRORECUBIERTOS CON PLATAFORMA	
LAMPARA DE CATODO HUECO DE PLOMO	

Tabla 6. Rampa de calentamiento del instrumento con horno de grafito.

ETAPA	TIEMPO DE HORNO (min)	TIEMPO DE RAMPA (min)	TIEMPO (min)	FLUJO DE GAS (ml/min)
1	120	10	10	300
2	450	10	20	300
3	2200	1	3	0
4	2500	0	3	30
5	20	10	5	300

El instrumento fue calibrado utilizando estándares de una concentración de 50, 100, y 200 $\mu\text{g/l}$.

Los límites de detección para cada metal aparecen en el Anexo B.

3.4 Muestreo

Se utilizó un método de muestreo simple, tomando la muestra de súbito del centro de la corriente, a una profundidad de entre 0 y 30 cm. Se usaron recipientes de diferentes

características para almacenar las muestras, dependiendo de los parámetros a evaluar. En la toma de muestras para los análisis de la mayoría de los parámetros físicos y químicos se usó un envase de plástico de 4 l de capacidad, para las determinaciones bacteriológicas (coliformes fecales y totales) se utilizaron envases de vidrio de boca ancha con tapón esmerilado de 125 ml de capacidad. En la toma de muestras para la medición del oxígeno disuelto se emplearon botellas Winkler de 300 ml; una vez tomada la muestra de agua se hizo la fijación del oxígeno en el campo, para lo cual se agregaron primeramente 2 ml de sulfato manganoso, y enseguida 2 ml de solución de alcali yoduro azida de sodio.

La toma de muestras para grasas y aceites se hizo en envases de vidrio de boca ancha de 1 l de capacidad, el cual previamente fue lavado con hexano. La muestra se tomó del agua superficial colocando la botella en la corriente; una vez tomada se fijó con 2 ml de ácido clorhídrico

En el caso de metales pesados se usaron frascos de polietileno de 1 l de capacidad, los cuales fueron previamente lavados con una solución de ácido clorhídrico con el fin de remover posibles restos de metales. Una vez tomada la muestra se agregaron 3 ml de ácido nítrico concentrado para bajar el pH de la muestra y preservarla, y finalmente se llevó a refrigeración hasta el momento de su análisis.

Las muestras se tomaron una vez al mes durante 10 meses iniciando en el mes de octubre de 1995 y finalizando el mes de julio de 1996.

3.5 Aforo de caudales

Además de tomar las muestras de agua se realizaron los aforos de los caudales en los sitios de muestreo, empleando el método de sección-velocidad que es utilizado por la Comisión Nacional del Agua. Para el efecto se usaron dos molinetes, uno de ellos del tipo pigmeo para gastos pequeños, y el otro de tamaño convencional

El procedimiento fue el siguiente: se tendió por encima de la superficie del agua un cordel marcado cada 50 cm, colocándolo en forma perpendicular a la corriente, y posteriormente se procedió a medir la profundidad cada 50 cm y con el molinete, cada metro, se contabilizó el número de revoluciones o giros dados por las copas del mismo en un lapso de 40 segundos, o de 60 segundos en el caso del molinete pigmeo; con el número de revoluciones y el tiempo medido se recurrió a una tabla preparada ex-professo para determinar la velocidad del agua. Con la anchura de cada sección de medida (1 m) multiplicada por la altura promedio de las tres lecturas se obtuvo el área, la cual a su vez se multiplicó por la velocidad del agua, con lo que se obtuvo el gasto parcial de esa sección (en m³/seg). Finalmente, se sumaron los gastos parciales de cada sección para obtener el gasto total del río. Estos aforos se efectuaron inmediatamente después de la toma de las muestras y en el mismo sitio donde éstas se tomaron.

3.6 Normas utilizadas

Con el fin de determinar si los diferentes parámetros evaluados se encontraban en concentraciones inadecuadas se recurrió a comparar los resultados de los análisis de laboratorio con una serie de normas o estándares tanto nacionales como internacionales, para con ello poder estar en condiciones de poder emitir un juicio sobre la calidad del agua del Río San Juan.

Las normas empleadas para evaluar la calidad del agua para consumo humano (agua potable) fueron la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1994 aprobada en el mes de enero de 1996, y las normas de la Organización Mundial de la Salud y de la Comunidad Económica Europea (las últimas dos tomadas de Tebutt, 1994). En cuanto a esta última, se debe mencionar que la CEE tiene tres grupos de normas para agua potable dependiendo de la intensidad del tratamiento que se le dé al agua; en este caso, se seleccionó el primer grupo con tratamiento simple o convencional por lo que la calidad de agua requerida para ajustarse a la norma es mayor.

Además, se emplearon los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua de la Comisión Nacional del Agua (CE-CCA-01/89) aprobados en diciembre de 1989. Estos criterios contienen normas para fuentes de abastecimiento, para uso agrícola, pecuario, recreativo con contacto primario, protección de la biota de agua dulce y de la vida marina, y para acuicultura.

Parece conveniente ampliar la información sobre estos criterios ecológicos por lo que a continuación se citan las definiciones de cada concepto de uso, tomados del artículo 2° del Acuerdo por el que se Establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (Gaceta Ecológica, 1990):

- **Calidad para la protección de la vida de agua dulce:** Grado de calidad del agua, requerido para mantener las interacciones e interrelaciones de los organismos vivos, de acuerdo al equilibrio natural de los ecosistemas de agua dulce continental.
- **Calidad para riego agrícola:** Grado de calidad del agua, requerido para llevar a cabo prácticas de riego sin restricción de tipo de cultivo, tipos de suelo y métodos de riego.
- **Calidad para uso como fuente de abastecimiento de agua potable:** Grado de calidad del agua, requerido para ser utilizada como abastecimiento de agua para consumo humano, debiendo ser sometida a tratamiento, cuando no se ajuste a las disposiciones sanitarias sobre agua potable.
- **Calidad para uso pecuario:** Grado de calidad del agua, requerido para ser utilizada como abastecimiento de agua para consumo de animales domésticos, que garantiza la protección de su salud y la calidad de los productos para consumo humano.

De entre todas las normas citadas, las de mayor importancia desde la perspectiva de este trabajo son la norma para agua potable, la norma para fuente de abastecimiento porque el agua del Río San Juan es almacenada en la presa "El Cuchillo" para fines de consumo humano, y la norma para protección de la vida acuática por ser esta una de las

más importante desde el punto de vista ecológico. Las normas antes mencionadas aparecen en los Anexos C y D.

3.7 Análisis estadístico

Los datos resultantes de los análisis de laboratorio fueron sometidos a diferentes tipos de análisis estadísticos para tratar de obtener de ellos la mayor información posible y probar las hipótesis planteadas implícitamente en los objetivos.

Inicialmente, se compararon los resultados de los análisis de laboratorio de cada parámetro contra cada norma existente, se contabilizaron todas las observaciones que se excedieron y se determinó el porcentaje de observaciones excedidas para cada variable.

Enseguida, se llevó a cabo un análisis espacial revisando la situación de cada estación de muestreo en particular, para detectar las más contaminadas y alguna posible tendencia. En este caso, también se contabilizaron las observaciones excedidas por variable y por estación haciendo las sumas finales correspondientes.

Posteriormente, se efectuó un análisis temporal, para lo cual se revisaron las observaciones excedidas por parámetro y por fecha de muestreo, para detectar de esta manera las fechas con más contaminación y alguna tendencia en el tiempo.

Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación lineal de todos los parámetros estudiados, obteniéndose la matriz correspondiente. Se calcularon también, para cada parámetro, las estadísticas básicas como son la media, desviación estándar, varianza, y coeficiente de variación.

Hasta aquí se consideró exclusivamente a las concentraciones de los parámetros. Para complementar el análisis espacial y el temporal se aplicó la ecuación del balance de masas (Hofmann, 1993), en la cual se multiplicaron los valores de concentración de cada parámetro en cada estación y fecha de muestreo por sus correspondientes valores de caudal, es decir:

$$M = C * Q \quad (1)$$

donde:

M= Masa en mg/seg

C= Concentración en mg/l

Q= Caudal o gasto en l/seg.

Con los datos de las masas de los contaminantes se procedió a hacer un análisis de componentes principales para detectar tendencias o agrupamientos tanto por elemento como estaciones y fechas. Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y a la prueba de Tukey para las medias, para detectar posibles diferencias estadísticas entre las estaciones así como también entre las fechas de muestreo para cada uno de los metales pesados.

Para el proceso de modelado se hizo un análisis del conjunto de datos de cada variable para tratar de definir a que tipo de distribución de probabilidad se ajustaban; para ello se utilizaron los datos de las concentraciones de los parámetros. Se pudo ver que la gran mayoría de los parámetros no se ajustan a una distribución normal; un análisis gráfico-visual nos mostró que tampoco se ajustaban a otras distribuciones con límites hasta el infinito, por lo que se optó por seleccionar a la Distribución Weibull que se caracteriza por una gran flexibilidad y que tiene un límite en la dirección de interés. Esta distribución también es llamada de valores extremos tipo III, y es de gran uso en Hidrología (Haan, 1986).

El modelo de la Distribución Weibull de dos parámetros, según Haan (1986), es el siguiente:

$$P_x(x) = \alpha x^{\alpha-1} \beta^{-\alpha} \exp(-(x/\beta)^\alpha) \quad (2)$$

La Distribución Weibull acumulada está dada por:

$$P_x(x) = 1 - \exp(-(x/\beta)^\alpha) \quad (3)$$

Donde:

x = variable de interés
 α = parámetro de forma de la distribución
 β = parámetro de escala

La función de densidad de la Distribución Weibull puede variar desde $\alpha = 1$ en forma de "j" invertida, a una exponencial con $\alpha = 1$, y ser aproximadamente simétrica conforme α se incrementa.

Si el límite inferior de la distribución no es cero, entonces se debe agregar un parámetro de desplazamiento (ε), por lo que la función de densidad sería:

$$P_x(x) = \alpha (x - \varepsilon)^{\alpha-1} (\beta - \varepsilon)^{-\alpha} \exp(-((x - \varepsilon)/(\beta - \varepsilon))^{\alpha}) \quad (4)$$

y la función de distribución acumulada es:

$$P_x(x) = 1 - \exp(-((x - \varepsilon)/(\beta - \varepsilon))^{\alpha}) \quad (5)$$

Los tres parámetros de la Distribución Weibull (α, β y ε) pueden ser calculados por el método de los momentos, para lo cual es necesario calcular la media (μ), desviación estándar (σ) y sesgo (γ) de los datos. Las ecuaciones que se emplean son las siguientes:

$$1/\alpha \quad (6)$$

$$\beta = \mu + \sigma A(\alpha) \quad (7)$$

$$\varepsilon = \beta - \sigma B(\alpha) \quad (8)$$

Con el valor del sesgo se puede calcular los coeficientes $1/\alpha$, $A(\alpha)$ y $B(\alpha)$, recurriendo a la tabla 6.2 de Haan (1986), para finalmente obtener los parámetros del modelo con las ecuaciones anteriores. Los valores de dicha tabla fueron graficados en el

paquete computacional Lotus 1-2-3 para facilitar y mejorar la precisión en la interpolación para aquellos valores que no aparecen en la tabla. Todos los cálculos derivados de la aplicación de las fórmulas anteriores se realizaron en el paquete computacional Excel versión 5.0.

Para verificar la bondad de ajuste de la Distribución Weibull se procedió a hacer la prueba de χ^2 a los datos de las variables de interés.

Por último, porque la masa promedio total de metales pesados en fechas siguió un patrón exponencial, similar al caudal, y no se puede predecir la ciclicidad con esta fuente de datos tan pequeña, se procedió a ajustar regresiones lineales y no lineales. La variable dependiente fue la masa promedio total de metales pesados y el caudal la variable explicatoria. Estas relaciones fueron ajustadas también para los sitios para probar su consistencia.

4. RESULTADOS

4.1 Identificación y cuantificación de contaminantes

En los Anexos E y F se presentan los resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros estudiados. Considerando que se definieron 8 estaciones de muestreo y 10 fechas, en total se dispuso de 80 observaciones para cada parámetro. Por problemas operativos no fue posible analizar en el laboratorio 8 muestras de agua para ciertos parámetros (coliformes fecales y totales, detergentes, nitrógeno de nitratos y nitrógeno orgánico), por lo que no se dispuso de las 80 observaciones esperadas. Estos parámetros no se analizaron estadísticamente al no poderse incluir en la matriz de datos. Los resultados de los análisis de laboratorio de estos parámetros aparecen en el Anexo F.

En cuanto a los metales pesados, se analizó estadísticamente a 21 de ellos, ya que en el caso de Be, Hg y Se la gran mayoría de las concentraciones se encontraron por debajo del límite de detección.

En el Anexo G se presentan algunos parámetros estadísticos de las variables evaluadas tales como la media, desviación estándar, varianza y coeficiente de variación. Es destacable la gran variabilidad que presentan muchos de los parámetros, principalmente los coliformes fecales y totales que en promedio tuvieron un coeficiente de

variación de 599.81%. Los metales pesados también mostraron gran variabilidad, teniendo en promedio un coeficiente de variación de 119.66%, de los cuales los más variables fueron el arsénico, zinc, plomo, aluminio y plata en ese orden, mientras que el estaño, magnesio, bario, níquel, silicio, cromo, boro, antimonio y cadmio fueron los de menor variabilidad.

Los parámetros físicos mostraron un coeficiente de variación promedio de 72.47%, siendo los mayores la turbiedad, sólidos suspendidos y color, y los menores temperatura, sólidos totales y disueltos, y conductividad eléctrica. Por su parte los parámetros químicos tuvieron un coeficiente de variación promedio de 65.72%, donde los más variables fueron el nitrógeno amoniacal, nitritos, y grasas y aceites, y los menores pH, dureza total, alcalinidad y oxígeno disuelto.

De los 59 parámetros estudiados fue posible disponer de normas o estándares solamente para 40 de ellos. Estas normas como se puede apreciar en los anexos correspondientes, son de diferente tipo, según el uso a que se destine el agua. También se puede apreciar que no existen normas para todos los usos en cada parámetro o variable ya que ello depende de la importancia de dicho parámetro para el uso a que se hace referencia.

Para agua potable se usaron las normas de la Comunidad Económica Europea, de la Organización Mundial de la Salud y la Norma Oficial Mexicana, y para los demás usos

se emplearon los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua de la Comisión Nacional del Agua. En las Tablas 7 y 8 se consignan los porcentajes de observaciones de las diferentes variables medidas, que excedieron las diferentes normas:

Tabla 7. Porcentaje de observaciones de metales pesados que excedieron los límites máximos permitidos.

PARAMETRO	NOM ¹	OMS ²	CEE ³	FA ⁴	UA ⁵	UP ⁶	PVA ⁷
Al	57.00	57.50	ND*	100.00	0.00	0.00	98.75
Sb	ND	ND	ND	7.50	7.50	ND	7.50
As	6.25	6.25	7.50	6.25	6.25	6.25	6.25
Ba	0.00	ND	7.50	0.00	ND	ND	98.75
Be	ND	ND	ND	0.00	ND	0.00	0.00
B	ND	ND	ND	0.00	0.00	0.00	ND
Cd	37.50	37.50	87.50	1.25	1.25	0.00	ND
Cu	0.00	0.00	3.75	0.00	0.00	0.00	ND
Cr	1.25	1.25	1.25	1.25	0.00	0.00	93.75
Fe	38.75	38.75	87.50	38.75	0.00	ND	3.75
Mn	5.00	17.50	31.25	17.50	ND	ND	ND
Hg	3.75	ND	ND	3.75	ND	2.50	0.00
Ni	ND	0.00	ND	77.50	0.00	0.00	ND
Ag	ND	ND	ND	2.50	ND	ND	ND
Pb	1.25	1.25	1.25	1.25	0.00	0.00	ND
Sel	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	ND

*ND= No Disponible

Tabla 8. Porcentaje de observaciones de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos que excedieron los límites máximos permitidos.

PARAMETRO	NOM ¹	OMS ²	CEE ³	FA ⁴	UA ⁵	UP ⁶	PVA ⁷
FISICOS							
Color	76.25	83.75	90.00	21.25	ND*	ND	ND
Conductividad	ND	ND	ND	20.00	ND	ND	ND
Sólidos Disueltos	7.50	7.50	ND	92.50	92.50	7.50	ND
Sólidos Susp.	ND	ND	17.50	0.00	10.00	ND	ND
Sólidos Totales	ND	ND	ND	11.25	ND	ND	ND
Turbiedad	60.00	60.00	ND	ND	ND	ND	ND
QUIMICOS							
Alcalinidad	ND	ND	ND	0.00	ND	ND	ND
Cloruros	0.00	ND	0.00	0.00	0.00	ND	0.00
DBO	ND	ND	35.00	ND	ND	ND	ND
DQO	ND	ND	11.25	ND	ND	ND	ND
Detergentes	0.00	ND	4.17	0.00	ND	ND	28.61
Grasas y Aceites	ND	ND	ND	82.50	ND	ND	ND
Fosforo Total	ND	ND	1.25	41.25	ND	ND	ND
Dureza Total	7.50	7.50	ND	ND	ND	ND	ND
Nitratos	1.56	1.56	0.00	12.5	ND	0.00	ND
Nitritos	2.50	0.00	ND	2.50	ND	0.00	ND
Nitrógeno Amon	10.00	ND	45.00	ND	ND	ND	25.00
Oxígeno Disuelto	ND	ND	ND	0.00	ND	ND	3.75
pH	1.25	1.25	1.25	0.00	0.00	ND	ND
Sulfatos	6.25	ND	76.25	6.25	85.00	ND	100.00
BACTERIOLOGICOS							
Coliformes Fecales	100.00	100.00	69.64	26.78	26.78	ND	50.00
Coliformes Totales	97.22	100.00	81.94	ND	ND	ND	ND

¹ Norma Oficial Mexicana para Agua Potable

² Norma de la Organización Mundial de la Salud para Agua Potable

³ Norma de la Comunidad Económica Europea para Agua Potable

⁴ Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Fuente de Abastecimiento

⁵ Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Uso Agrícola

⁶ Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Protección de la Vida Acuática

Observando las Tablas 7 y 8 se puede apreciar que varios parámetros excedieron las normas, cada uno de ellos en diferente magnitud, medida como el porcentaje de las observaciones que rebasan los estándares. En el caso de la Norma Oficial Mexicana para agua potable se excedieron 19 de 24 parámetros analizados, siendo los que presentan mayores valores los coliformes fecales, coliformes totales, color, turbiedad, aluminio, fierro y cadmio; los menores fueron mercurio, nitritos, pH, plomo, cromo y otros.

Según los estándares de la Organización Mundial de la Salud los principales problemas son los coliformes fecales, color, turbiedad, aluminio, fierro y cadmio.

Se puede observar la similitud de los valores de los parámetros excedidos para la NOM y la OMS, debido a la gran semejanza de ambos grupos de normas, lo que se puede comprobar al revisar los anexos y hacer las comparaciones correspondientes.

Las normas de la Comunidad Económica Europea difieren un poco de las dos anteriores, son normas con un umbral más bajo en lo general por lo que podemos ver que además de los coliformes fecales y totales, color, cadmio, y fierro, también se excedieron los sulfatos, demanda bioquímica de oxígeno, manganeso, sólidos suspendidos y demanda química de oxígeno.

En cuanto a la calidad del agua para fuente de abastecimiento, en las mismas tablas podemos observar que 21 de 37 parámetros normados se excedieron de alguna forma, siendo los más problemáticos el aluminio, los sólidos disueltos, grasas y aceites, níquel, fosfatos, fierro, coliformes fecales, así como color y conductividad eléctrica.

Por lo que se refiere a la calidad del agua del río para uso agrícola (riego), existen problemas con los sólidos disueltos, sulfatos y coliformes fecales.

Para uso pecuario al parecer no existen muchos problemas ya que sólo 3 de 15 parámetros excedieron las normas en porcentajes muy bajos (sólidos disueltos, arsénico y mercurio).

Atención especial requiere el estudio de los parámetros cuando se trata de la preservación de la vida acuática, ya que la sanidad del ecosistema del río refleja directamente la sanidad general de la cuenca. Al comparar la norma para la preservación de la vida acuática con los resultados obtenidos se puede ver que existen fuertes problemas con sulfatos, aluminio, bario, cromo, coliformes fecales, detergentes y nitrógeno amoniacal.

4.2 Análisis espacial de las concentraciones

En esta parte del análisis se revisaron las estaciones de muestreo enfatizando aquellas que presentaron mayores problemas de contaminación; para tal efecto se tomó el promedio de las concentraciones de los parámetros de los 10 muestreos en cada estación.

Al hacer mención de aquellos parámetros cuyo promedio de los muestreos resultaron más altos en cada estación, no se quiere dar a entender que necesariamente excedieron las normas, ni tampoco que se sometieron a un análisis estadístico exhaustivo. Esto último no se realizó porque las concentraciones están en función de la carga de entrada de contaminantes y la magnitud del caudal.

En la Estación 1, ubicada en el Río Santa Catarina, cerca de la salida del área metropolitana de la ciudad de Monterrey, los parámetros más altos fueron: alcalinidad total, dureza de calcio, nitratos, nitritos, arsénico, bario, boro, cromo, y zinc.

En el puente de la ciudad de Cadereyta Jiménez (Estación 2), los parámetros más altos fueron: coliformes totales, demanda química de oxígeno, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico, oxígeno disuelto (el menor promedio), turbiedad y aluminio.

En la Estación 3, ubicada sobre el Río Santa Catarina unos 40 metros antes de la confluencia del Río San Juan, cerca del poblado de San Miguelito (municipio de Cadereyta Jiménez), los parámetros más altos fueron: coliformes fecales, grasas y aceites, calcio y manganeso.

La Estación 4, ubicada unos 2 kilómetros aguas abajo de la Estación 3, en el vado de San Miguelito, presentó los siguientes parámetros como los más altos: color, demanda bioquímica de oxígeno, fosfatos, sólidos suspendidos totales, cobre, fierro, molibdeno y silicio.

La Estación 5, ubicada sobre el poblado de San Juan (municipio de Cadereyta Jiménez), mostró tener el valor promedio más alto de plomo.

En la Estación 6, localizada en el poblado de Tepehuaje (en el mismo municipio), ningún parámetro presentó el valor promedio más alto de entre todas las estaciones.

En la localidad de El Carrizo (municipio de Los Ramones), donde se ubicó la Estación 7, al igual que la Estación 6, no reveló tener ningún parámetro con el mayor valor promedio.

La última estación de muestreo, ubicada en el poblado de Las Enramadas (municipio de China), los parámetros que resultaron más altos fueron: cloruros, conductividad eléctrica, detergentes, dureza de magnesio, dureza total, pH, sólidos disueltos totales, sólidos totales, sulfatos, antimonio, cadmio, cobalto, estaño, litio, magnesio, níquel y plata.

Tabla 9. Número de parámetros por estación que mostraron los valores promedio mas altos.

ESTACION	NUMERO DE PARAMETROS
8	17
2	9
4	7
3	7
1	5
5	3
7	1
6	0

Se hicieron todas las comparaciones posibles (11,696) de los resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros contra el total resultante de multiplicar el número de observaciones de cada parámetro por la cantidad de normas disponibles para ese parámetro en particular, para caracterizar a cada estación contabilizando el número de veces que los parámetros se excedieron; los resultados aparecen en la Tabla 10 y Figura 2.

Tabla 10. Número de comparaciones posibles de las concentraciones medidas contra el número de normas.

	<i>Parámetros</i>	<i>Metales</i>	<i>TOTAL</i>
	<i>Fis-Quim-Bact</i>	<i>Pesados</i>	
Observaciones	1704	1280	2984
Normas	68	82	150
Comparaciones	5136	6560	11696

Basándose en la Tabla 10 y en la figura 2 se calculó el porcentaje global de observaciones excedidas, el cual fue de 18.72%.

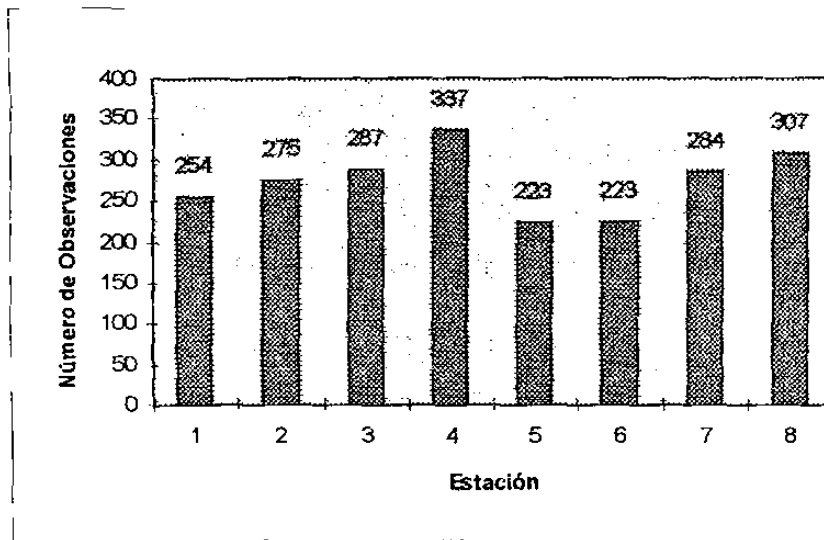


Figura 2. Número de observaciones por estación que excedieron las normas.

En la Figura 2 se puede observar que las estaciones más contaminadas en cuanto a la concentración de las sustancias son la 4, 8 y 3, y las menos contaminadas son la 5 y la 6. Como se mencionó anteriormente, la estación 4 se ubico un poco después de la confluencia del Río San Juan con el Río Santa Catarina, lo que plantea la posibilidad de aquel río esté impactando a este último. Un efecto muy notorio de dilución de los contaminantes lo tiene el Río Ramos el cual su une al San Juan después de la Estación 4, lo que provoca que las Estaciones 5 y 6 presenten la mejor calidad de agua en cuanto a las concentraciones observadas.

Sin embargo, la calidad del agua se deteriora nuevamente en la Estación 8, la cual se ubicó un poco delante de la confluencia del Río Pílon, lo que implica la posibilidad de que este río esté modificando negativamente la calidad del agua del Río San Juan. La

calidad del agua que pasa por este sitio es de capital importancia ya que se encuentra a unos pocos kilómetros de la presa “El Cuchillo”.

4.3 Análisis temporal de las concentraciones

En este apartado se pretendió detectar alguna posible tendencia en el tiempo, es decir, si las concentraciones de los parámetros aumentaban o disminuían a través del tiempo o si presentaban oscilaciones estacionales. Para ello se determinó para cada parámetro el número de veces en cada fecha de muestreo que dicho parámetro rebasaba la norma. Para tal efecto se emplearon tres tipos de normas: la norma oficial mexicana para agua potable, la norma para fuente de abastecimiento y la norma para protección de la vida acuática. Los resultados aparecen en la Figura 3:

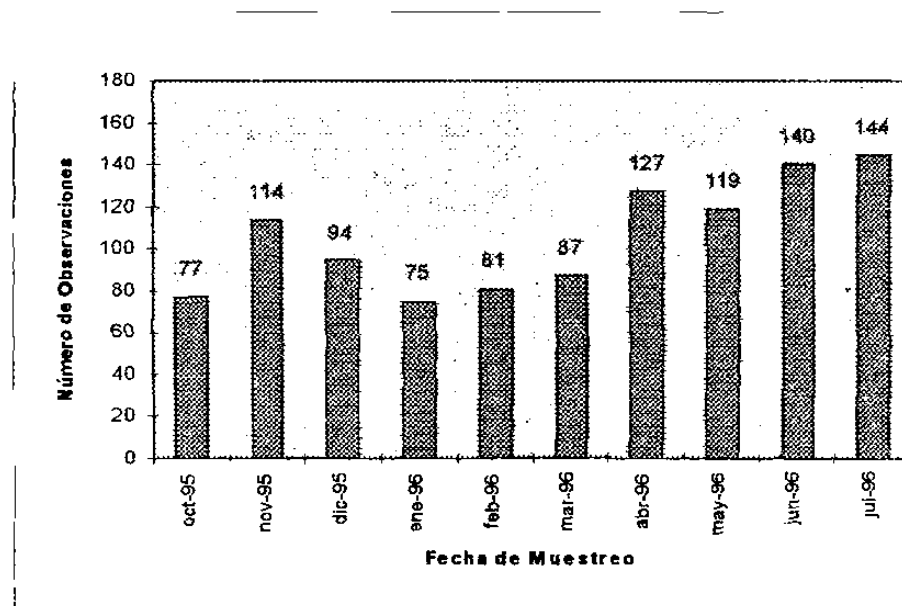


Figura 3. Número de veces que los parámetros excedieron las normas en las diferentes fechas de muestreo.

Tomando en consideración que en esta cuenca las lluvias más fuertes ocurren en los meses de agosto y septiembre, es lógico esperar que así como lo revela la figura 3 y las observaciones de los caudales, la contaminación no sea muy alta en los meses siguientes como lo muestra el mes de octubre, esto debido al efecto de lavado del río y una consecuente mayor dilución. Sin embargo, en el mes de noviembre se dió un incremento significativo en la contaminación, lo que se puede adjudicar a un incremento en las descargas de aguas residuales en esas fechas ya que posteriormente vuelve a descender la contaminación en los meses de diciembre y enero sin que se hayan presentado lluvias significativas que diluyeran a los contaminantes.

Una situación digna de tomar en cuenta es el hecho de que después de las lluvias del verano de 1995 se dejó sentir una fuerte sequía en todo el estado de Nuevo León, lo cual se reflejó en una disminución constante del caudal conducido por el río, y que posiblemente contribuyó al incremento en las concentraciones de los contaminantes, como se aprecia en la figura anterior a partir del mes de febrero de este año y hasta finalizar con los muestreos. Esta se puede corroborar al observar las matrices de correlación correspondientes donde se observa que el gasto o caudal del río está correlacionado negativamente con la concentración de la gran mayoría de los parámetros, claro que en diferente magnitud para cada uno de ellos.

4.4 Análisis de correlación lineal de las concentraciones

En las Tablas 11 a 16 se pueden apreciar las matrices de los coeficientes de correlación obtenidas. En ellas podemos observar que las correlaciones más fuertes se dieron entre los propios metales pesados, como por ejemplo, entre cobalto y antimonio, molibdeno y antimonio, cobalto y molibdeno, aluminio y fierro, aluminio y cobalto, aluminio y antimonio, aluminio y molibdeno, magnesio y estaño, y otras menores. Por lo que se ve los metales participantes de estas correlaciones son principalmente el cobalto, molibdeno, antimonio y aluminio.

Los parámetros físicos más correlacionados con los metales pesados son la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos, sólidos suspendidos, sólidos totales, color y turbiedad, lo cual resulta bastante lógico dada la naturaleza de las variables mencionadas.

Por otro lado, los parámetros químicos que se correlacionaron con los metales fueron dureza total, cloruros y sulfatos, sin embargo en estas correlaciones no participan cobalto ni molibdeno, y son relativamente bajas para aluminio y antimonio; son otros metales como estaño, boro, cadmio, fierro y magnesio, los que se correlacionan un poco más estrechamente con dichas variables químicas.

Tomando en consideración que no es posible una combinación química de cobalto, molibdeno, antimonio y aluminio, entre sí mismos, sus altas correlaciones tal vez obedecen a factores de orden físico, como pudieran ser procesos erosivos del suelo o descargas de aguas contaminadas.

Sin embargo, también hay que recordar que por las muy escasas precipitaciones presentadas durante el periodo de estudio es poco probable que haya ocurrido erosión hídrica de consideración. Se debe señalar también que el aluminio fue el metal que excedió en más ocasiones las normas, por lo que se puede pensar que la presencia de estos metales es debida a contaminación antropogénica.

Tabla 11. Matriz de Coeficientes de Correlación de Pearson para los metales pesados (Prob > R bajo Ho. Rho=0/ N=80)

	Sb	As	Ba	B	Cd	Ca	Cn	Cu	Cr	Sn
AJ	0.74806 0.0001	-0.08532 0.4518	0.32324 0.0034	0.20619 0.0665	-0.0035 0.9754	-0.18805 0.0948	0.79671 0.0001	0.37627 0.799	-0.27294 0.0143	0.2123 0.038
Sb		-0.06806 0.5486	0.26389 0.0180	0.24029 0.0318	-0.00778 0.9454	-0.34153 0.0019	0.94405 0.0001	0.30792 0.0055	-0.233 0.0575	0.29092 0.0075
As			0.12925 0.2532	0.00417 0.9707	0.03285 0.7724	0.02982 0.7929	-0.08365 0.4607	-0.11640 0.3038	0.0488 0.6673	-0.04152 0.7146
Ba				0.40669 0.0002	0.37625 0.0006	0.1954 0.0824	0.31053 0.0051	0.13390 0.2363	0.10023 0.3764	0.51478 0.0045
B					0.37969 0.0005	0.11125 0.3259	0.20957 0.0621	-0.00839 0.9411	0.15415 0.1722	0.55159 0.0091
Cd						0.26874 0.0159	0.11436 0.3124	0.30470 0.0006	0.32845 0.0029	0.38843 0.0004
Ca							-0.34446 0.0018	-0.11002 0.3313	0.19236 0.0003	0.16953 0.3328
Co								0.42539 0.0001	-0.22422 0.0456	0.22974 0.0404
Cu									0.07862	0.10398
Cr										0.3587 0.2558 0.022

Tabla 11. Continuación

	Li	Mg	Mn	Mo	Ni	Ag	Pb	Si	Zn
AJ	0.08520 0.4524	0.14783 0.1907	0.07004 0.537	0.79758 0.0001	0.18316 0.1039	0.08587 0.4489	0.07940 0.4838	0.36795 0.0008	-0.01176 0.8966
Sb	0.21007 0.0614	0.3342 0.0024	0.08674 0.4443	0.95032 0.0001	0.25984 0.0199	0.10413 0.3580	0.00304 0.9787	0.24546 0.0282	0.04908 0.6655
As	-0.01981 0.8616	0.08409 0.4583	-0.03972 0.7264	-0.05290 0.6412	-0.00288 0.9798	-0.09447 0.4045	-0.0486 0.6686	-0.08016 0.4797	-0.02509 0.8251
Ba	0.05175 0.6485	0.34623 0.0017	0.08269 0.4659	0.31322 0.0047	0.25122 0.0246	0.01411 0.9012	0.02066 0.8557	0.10376 0.3597	0.11416 0.3133
B	0.19133 0.0891	0.66428 0.0001	0.20965 0.062	0.28536 0.0103	0.41028 0.0002	0.05963 0.5993	-0.0464 0.6827	0.21141 0.0598	0.08267 0.466
Cd	0.26451 0.0177	0.55765 0.0001	0.05747 0.6126	0.08101 0.475	0.47539 0.0001	0.33279 0.0026	-0.03106 0.7844	-0.01741 0.8782	0.05386 0.6351
Ca	0.01036 0.9273	0.14318 0.2051	-0.12388 0.2736	-0.31115 0.005	0.03471 0.7598	0.04055 0.7210	0.04031 0.7226	0.13617 0.2284	0.07532 0.5078
Co	0.14344 0.2043	0.25626 0.0218	0.06826 0.5474	0.95995 0.0001	0.26892 0.0159	0.15726 0.1636	0.0105 0.9263	0.23415 0.0344	0.00796 0.9442
Cu	0.01257 0.9119	-0.04748 0.6758	-0.10523 0.3529	0.38649 0.9004	0.24998 0.0253	0.43355 0.0001	-0.07854 0.4887	0.07767 0.4935	0.11973 0.2901
Cr	0.03298 0.7715	0.23592 0.0351	-0.00409 0.9713	-0.17734 0.1155	0.64312 0.0001	0.14673 0.194	-0.15298 0.1755	0.01899 0.8672	0.30677 0.0056
Sn	0.26190 0.0189	0.743 0.0001	0.12243 0.2793	0.28827 0.0095	0.5655 0.0001	0.32455 0.0033	-0.16266 0.1494	0.27039 0.0153	-0.03383 0.7658

Tabla 11. Continuación.

	Li	Mg	Mn	Mo	Ni	Ag	Pb	Si	Zn
Fe	0.06804 0.5487	0.08303 0.4640	0.26562 0.0173	0.51228 0.0001	0.23257 0.0379	0.00273 0.9808	0.15285 0.1759	0.45445 0.0001	-0.03382 0.7659
Li		0.43406 0.0001	0.00888 0.9377	0.14949 0.1857	0.21239 -0.00335	-0.00335 0.9765	-0.03181 0.7794	-0.00382 0.9732	-0.0563 0.6199
Mg			0.17481 0.1209	0.30335 0.0062	0.56955 0.0001	0.10344 0.3612	-0.04194 0.7118	0.16271 0.1493	-0.01897 0.8673
Mn				0.14196 0.2091	0.29435 0.008	-0.08723 0.4416	0.031 0.7849	0.03856 0.7342	-0.07359 0.5165
Mo					0.3428 0.0019	0.11406 0.3137	-0.03702 0.7444	0.23477 0.0261	-0.00521 0.9634
Ni						0.24354 0.0295	-0.15323 0.1748	0.14351 0.2041	0.14186 0.2094
Ag							0.06499 0.5668	0.05681 0.6167	-0.01868 0.8694
Pb								0.08306 0.4639	-0.05291 0.6412
Si									0.01799 0.8742

Tabla 12. Matriz de Coeficientes de Correlación de Pearson entre metales pesados y parámetros físicos (Prob > R bajo Ho. Rho=0/N=80).

	Q	Col	CE	SD	SS	ST	Temp	Tur
Al	-0.01697 0.1337	0.67028 0.0001	0.16131 0.1529	0.12105 0.2848	0.47617 0.0001	0.18973 0.0919	0.45102 0.0001	0.72061 0.0001
Sb	-0.21536 0.0551	0.53031 0.0001	0.38075 0.0005	0.23032 0.0398	0.32704 0.0031	0.26461 0.0177	0.49541 0.0001	0.40914 0.0002
As	-0.04981 0.6609	-0.06485 0.5677	0.07012 0.5365	-0.00954 0.9330	-0.09287 0.4126	-0.02111 0.8526	-0.05483 0.6291	-0.05740 0.6130
Ba	-0.30994 0.0051	0.23873 0.033	0.19302 0.0863	0.14725 0.1924	0.26943 0.0157	0.17759 0.115	0.07758 0.494	0.20845 0.0635
B	-0.47659 0.0001	0.22241 0.0474	0.55332 0.0001	0.41112 0.0002	0.25744 0.0211	0.44674 0.0001	0.07566 0.5048	0.14456 0.2008
Cd	-0.23335 0.0372	0.20899 0.0628	0.35706 0.0011	0.35503 0.0012	0.22089 0.049	0.38341 0.0004	-0.10589 0.3499	0.10864 0.3374
Ca	-0.06165 0.5869	-0.21474 0.0558	-0.01103 0.9226	0.21986 0.05	-0.14898 0.1872	0.19268 0.0868	-0.23179 0.0386	-0.21575 0.0546
Co	-0.16360 0.1471	0.58513 0.0001	0.28772 0.0097	0.17366 0.1234	0.4132 0.0001	0.21694 0.0532	0.46093 0.0001	0.50362 0.0001
Cu	0.02892 0.799	0.2767 0.013	0.01638 0.8853	0.12294 0.2773	0.14225 0.2081	0.13482 0.2331	0.05255 0.6434	0.30247 0.0064
Cr	-0.11532 0.3084	-0.17102 0.1293	0.23833 0.0333	0.40915 0.0002	-0.07437 0.5121	0.3989 0.0002	-0.12712 0.2612	-0.17987 0.1104
Sn	-0.28675 0.0099	0.19348 0.0855	0.75762 0.0001	0.65717 0.0001	0.13584 0.2296	0.67753 0.0001	0.34690 0.0016	0.08453 0.456

Tabla 12. Continuación.

	Q	Col	CE	SD	SS	ST	Temp	Tur
Fe	-0.16702 0.1387	0.11491 0.0001	0.0543 0.6324	-0.02678 0.8136	0.75743 0.0001	0.08305 0.4639	0.45797 0.0001	0.8839 0.0001
Li	-0.16619 0.1407	0.15476 0.1705	0.42164 0.0001	0.34803 0.0016	0.03325 0.7697	0.35194 0.0014	0.10522 0.3729	0.07306 0.5184
Mg	-0.41169 0.0001	0.25875 0.0205	0.85107 0.0001	0.71449 0.0001	0.19516 0.0828	0.74091 0.0001	0.23958 0.0323	0.08238 0.4675
Mn	-0.22042 0.0494	0.38921 0.0004	0.11965 0.2904	-0.05235 0.6447	0.6538 0.0001	0.04253 0.108	0.26911 0.0758	0.3093 0.0052
Mo	-0.26761 0.0164	0.63157 0.0001	0.32825 0.003	0.165467 0.1419	0.3597 0.001	0.21736 0.0528	0.49794 0.0001	0.53421 0.0001
Ni	-0.37045 0.0007	0.3237 0.0034	0.53667 0.0001	0.47143 0.0001	0.38192 0.0005	0.52555 0.0001	0.34359 0.0018	0.26537 0.0174
Ag	0.09221 0.416	0.02877 0.8	0.14593 0.1965	0.26266 0.0186	-0.07654 0.4998	0.25089 0.0248	0.09308 0.4115	-0.00359 0.9748
Pb	-0.12841 0.2563	0.07654 0.4998	-0.20971 0.0619	-0.174 0.1227	0.10451 0.3562	-0.15841 0.1605	-0.02117 0.8522	0.14278 0.2064
Si	-0.12374 0.2742	0.32479 0.0033	0.23088 0.0393	0.2759 0.0132	0.22031 0.0496	0.3071 0.0056	0.50481 0.0001	0.23972 0.0322
Zn	0.04717 0.6145	-0.08028 0.479	0.00038 0.9973	0.14532 0.1984	-0.03264 0.7738	0.14021 0.2148	-0.06552 0.5637	0.14202 0.2089

Tabla 13. Matriz de Coeficientes de Correlación de Pearson entre metales pesados y parámetros químicos (Prob > R bajo Ho: P=0 (N= 80))

	Alc	Clor	DBO	DQO	DT	Fosf	GA	Nit	NAm	OD	pH	Sulf
Al	-0.09545	0.13758	0.25941	0.42808	0.10399	0.38688	-0.12124	0.07424	-0.05127	-0.07956	-0.1604	0.1153
Sb	0.3997	0.2236	0.0201	0.3001	0.3587	0.0004	0.2841	0.5128	0.6515	0.383	0.0197	0.2583
As	-0.05354	0.22332	0.18796	0.31993	0.31401	0.08239	-0.21691	0.04837	-0.01231	0.09685	-0.13787	0.1255
Ba	0.6372	0.0142	0.095	0.0038	0.0046	0.4675	0.0533	0.67	0.9137	0.3929	0.276	0.0801
B	0.14244	0.01071	0.00124	-0.07841	0.16459	-0.11017	0.27640	0.00172	-0.0619	-0.06855	-0.03454	0.0306
Cd	0.2075	0.9249	0.9913	0.4893	0.1446	0.4306	0.0131	0.9879	0.5854	0.5459	0.76	0.0056
Ca	0.15534	0.07405	0.24627	0.19228	0.33554	0.03748	-0.08374	0.5555	-0.12045	-0.06909	-0.22841	0.15565
Co	0.1689	0.5139	0.0277	0.0875	0.0023	0.7413	0.4602	0.6245	0.2872	0.5226	0.0415	0.166
Cr	-0.01351	0.5118	0.233	0.22243	0.50962	0.10541	-0.16624	0.11522	0.18256	0.17106	0.02999	0.502
Cu	0.9053	0.0001	0.0375	0.0474	0.0001	0.3521	0.1406	0.3088	0.1051	0.1292	0.791	0.001
Fe	-0.02719	0.43837	0.30194	0.08053	0.39608	-0.1394	0.07123	-0.15218	-0.06589	-0.08649	0.0078	0.14544
Mg	0.8108	0.0001	0.0065	0.4776	0.0003	0.2175	0.5301	0.1778	0.5615	0.455	0.145	0.00
Mn	0.14772	-0.03504	-0.09177	-0.20988	0.04021	0.04235	0.29089	-0.07548	-0.18782	-0.02987	-0.065	-0.1765
Ni	0.2034	0.7576	0.4182	0.0155	0.7233	0.7091	0.0089	0.5058	0.0952	0.7925	0.9744	0.0917
Pb	-0.04467	0.21153	0.23305	0.37363	0.24195	0.06343	-0.18317	-0.01584	-0.06498	0.02866	-0.19877	0.5588
Se	0.694	0.0596	0.0375	0.0006	0.0306	0.5762	0.1039	0.8891	0.5669	0.8048	0.078	0.0071
Si	0.06293	-0.06048	0.02972	0.04472	0.06528	0.17715	-0.00117	-0.09303	-0.21969	-0.0036	-0.2673	-0.0331
Sr	0.5792	0.5941	0.7936	0.6936	0.5651	0.1159	0.9918	0.4118	0.502	0.9554	0.015	0.00
V	0.31734	0.08482	-0.132	-0.19953	0.29166	0.09535	0.46745	0.08833	-0.00115	-0.17808	-0.02977	0.14949
Zn	0.0041	0.4544	0.2431	0.076	0.0087	0.4002	0.0001	0.4358	0.9919	0.114	0.7261	0.509
	0.02063	0.58804	0.12515	0.09637	0.66965	0.09671	-0.14984	0.12171	0.12272	-0.07844	0.00655	0.5305
	0.8559	0.0001	0.2687	0.3951	0.0001	0.3934	0.1346	0.2841	0.2781	0.4892	0.9510	0.001

Tabla 13 Continuación

	Alc	Clor	DBO	DQO	DT	Fosf	GA	Nit	NAm	OD	pH	Sulf
Fe	-0.19774	0.18271	0.40916	0.59159	-0.08066	0.57983	-0.0054	0.1265	0.17926	-0.18110	-0.16134	0.13836
Li	0.0787	0.1048	0.0002	0.0001	0.4769	0.0091	0.9621	0.2635	0.1116	0.1079	0.1515	0.1676
Mg	-0.08469	0.42418	-0.00765	0.02553	0.33914	0.09989	0.11395	-0.05044	-0.06264	-0.0451	0.00676	0.15558
Mn	0.4551	0.0001	0.9463	0.8235	0.0021	0.378	0.3142	0.6582	0.581	0.0899	1.5561	0.001
Mo	-0.07691	0.82248	0.24435	0.12291	0.7775	-0.00268	-0.09065	0.07517	0.11224	-0.02338	0.20294	0.064
Ni	0.4977	0.0001	0.0289	0.2774	0.0001	0.9812	0.4239	0.5075	0.3216	0.7688	0.0710	0.001
Pb	-0.2345	0.2659	0.49791	0.50621	-0.07054	0.3369	-0.01693	-0.08878	0.41399	-0.03079	0.0885	0.1515
Se	0.0363	0.0173	0.0001	0.0001	0.5341	0.0022	0.8815	0.4335	0.0001	0.7863	0.546	0.75
Si	-0.12447	0.27554	0.29137	0.45978	0.22873	0.13634	-0.14777	0.04953	0.03586	0.03556	-0.2271	0.001
Sr	0.2713	0.0134	0.0087	0.0001	0.0413	0.2279	0.1909	0.6626	0.7521	0.7542	0.1426	0.001
V	-0.08341	0.52556	0.2314	0.24889	0.39101	0.16586	0.17763	0.10288	0.26531	-0.1476	0.00079	0.009
Zn	0.462	0.0001	0.0389	0.026	0.0003	0.1415	0.115	0.3638	0.0174	0.1914	0.995	0.001
Ag	0.075	0.04175	-0.00904	-0.05459	0.19989	0.02819	-0.0692	-0.11421	-0.12848	0.02606	-0.08512	0.0015
Cu	0.5085	0.7131	0.9366	0.6305	0.0755	0.804	0.5419	0.3131	0.256	0.8185	0.1573	0.001
Pb	-0.02684	-0.06708	0.23827	0.07533	-0.12935	0.00592	-0.12769	0.01675	-0.04327	0.14245	0.10479	-0.0089
Se	0.8132	0.5544	0.0333	0.5066	0.2528	0.9784	0.259	0.8827	0.7031	0.205	0.3577	0.001
Si	0.31617	0.11267	-0.04353	0.24279	0.19378	0.32133	-0.11542	0.15667	0.18992	-0.02006	0.03604	0.1531
Sr	0.0043	0.3197	0.7014	0.03	0.0818	0.0037	0.308	0.1653	0.0915	0.4802	0.7449	0.005
Zn	0.20705	-0.18343	-0.08563	-0.07672	0.05954	0.07334	0.17894	-0.06591	-0.09604	-0.14408	-0.1726	-0.0785
	0.0651	0.1034	0.45	0.5157	0.5999	0.518	0.1122	0.5613	0.3967	0.2023	0.128	0.001

4.5 Análisis de pesticidas

En este apartado sólo hay que mencionar que en los tres muestreos realizados no se detectó la presencia de los pesticidas estudiados, que fueron: Alfa-BHC, Beta-BHC, Lindano, Heptacloro, Delta-BHC, Aldrin, Heptacloro-Epoxi, Endosulfán I, 4'4-DDE, Endrin, Dieldrin, 4'4-DDD, Endosulfán II, 4'4-DDT, Endrin Aldheído Endosulfán Sulfonato, Metoxicloro y Endrin Cetona.

4.6 Análisis espacial y temporal de las masas de contaminantes

El análisis del comportamiento de los contaminantes del río estaría incompleto si se basa solamente en sus concentraciones. Es necesario además estudiar las cantidades de dichos contaminantes, expresadas como masa, que son conducidas por el río; esta forma de analizar la información cambia en parte los patrones descritos en el análisis de concentraciones, aunque en algunos casos lo confirma. Para el efecto, se procedió primeramente a hacer un análisis de componentes principales de las masas de los contaminantes, con caracter exploratorio o preliminar, posteriormente se llevó a cabo un análisis de varianza de las mismas y finalmente una prueba de Tukey para las medias de dichas masas.

El análisis de componentes principales para las estaciones mostró que 2 grupos emergieron del análisis estadístico, como se puede ver en la Figura 4; los eigenvectores graficados fueron el primero y el segundo, los cuales explicaron aproximadamente el 93%

de la variación total. El primer grupo está constituido por las estaciones 2 y 3, y el segundo grupo por las estaciones 1, 4, 5, 6, 7 y 8. Esto significa que el comportamiento de las masas de los contaminantes son muy similares hacia el interior de cada grupo pero muy diferentes al comportamiento de las masas del otro, sin que implique necesariamente que las masas sean iguales. Significa también que existe una similitud entre el tipo y proporción de contaminación por metales pesados para las estaciones que pertenecen a cada grupo. Al usar el término comportamiento se hace referencia a la variación conjunta del caudal y las concentraciones en cada estación, que hace que la varianza de los datos muestre ciertas tendencias. Esto se confirma al observar las correlaciones obtenidas para las estaciones; por ejemplo, la correlación entre las estaciones 2 y 3 fue de 0.99, entre la estación 4 y 5 fue de 0.94, 5 y 7 de 0.97, 6 y 8 de 0.98 y 7 y 8 de 0.96.

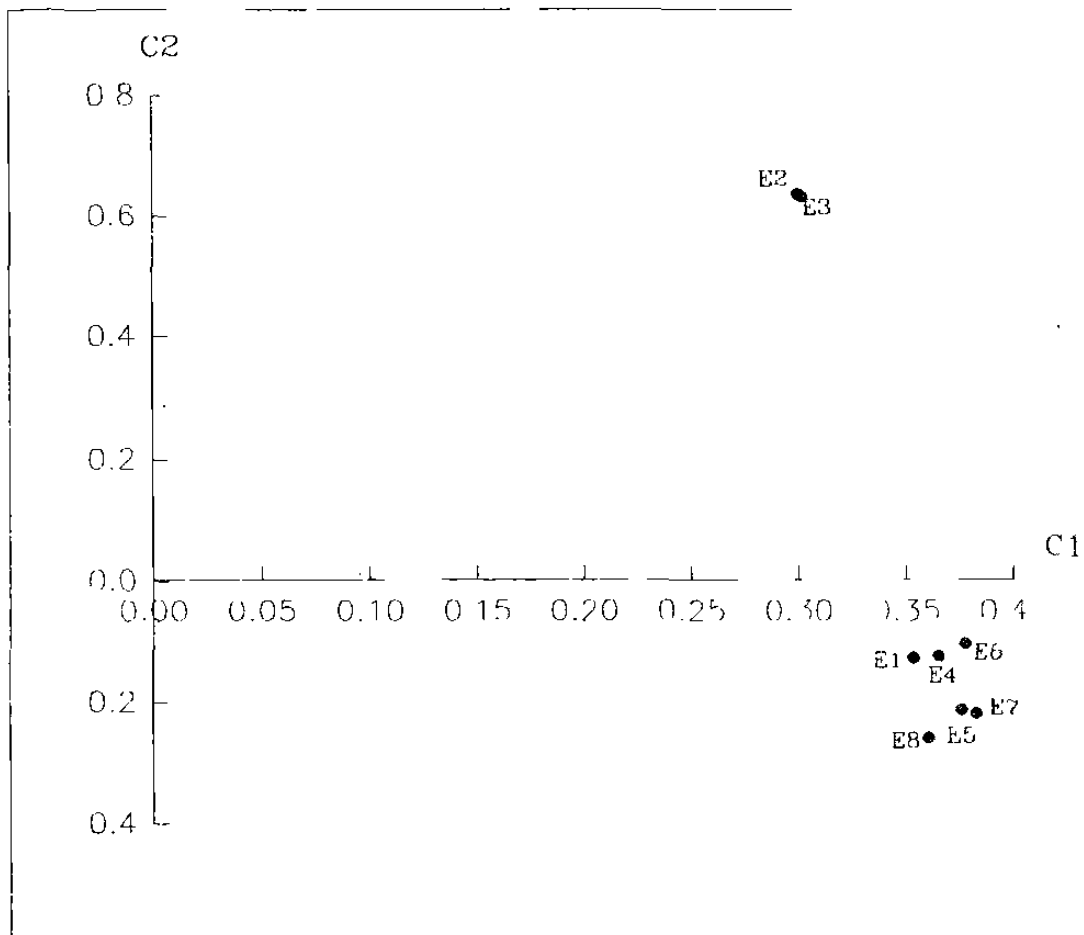


Figura 4. Diagrama de componentes principales para estaciones de muestreo, para la masa de 21 metales en el Río San Juan

Por su parte el análisis de componentes principales para las fechas de muestreo no mostró la formación de grupos bien definidos pero si una tendencia bien marcada. En la Figura 5 puede observarse que en el cuadrante superior se ubican las fechas 6 a 10, y en el inferior las fechas 1 a la 5, lo que podría sugerir dos grupos o sistemas de comportamiento de la masa a lo largo del tiempo. Pero más que eso, se observa una tendencia en la que se revela un gradiente donde la masa varía en cierta proporción a lo largo del tiempo. Se utilizaron los primeros dos componentes para obtener la gráfica citada, cuyos eigenvalues explicaron el 85.4% de la variación total.

El análisis de de componentes principales de las masas de los metales pesados mostró la formación de 6 grupos, 3 en el cuadrante superior y 3 en el inferior, como puede observarse en la Figura 6; el arsénico muestra un comportamiento muy diferente al resto de los elementos y se aísla en la gráfica. Los grupos del cuadrante superior están formados por Pb y Zn, otro por Mn y Fe, y el grupo mayor lo integran Al, Ca, B, Sb, Ba, Mg y Si. Los grupos del cuadrante inferior los forman Ag y Cu en uno de ellos. Cd, Ni, Li y Mo en el mayor y Cr, Co y Sn en el grupo que podría considerarse con un comportamiento intermedio.

Estos agrupamientos de metales pesados debidos a sus altas correlaciones, muestran un comportamiento similar entre ellos, es decir, tal vez tengan un mismo origen o respondan de manera similar a factores tales como caudal, pH, temperatura del agua, etc.

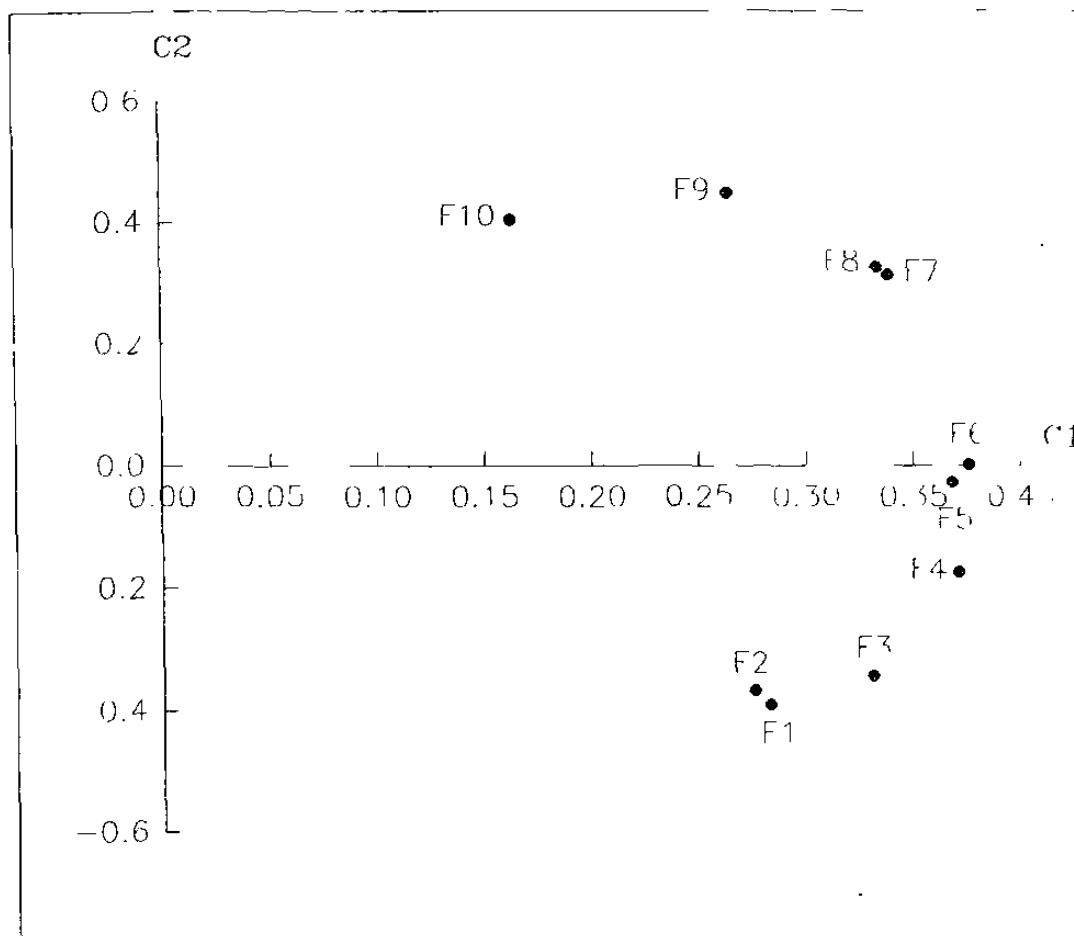


Figura 5 Diagrama de componentes principales para fechas de muestreo, para la masa de 21 metales en el Río San Juan

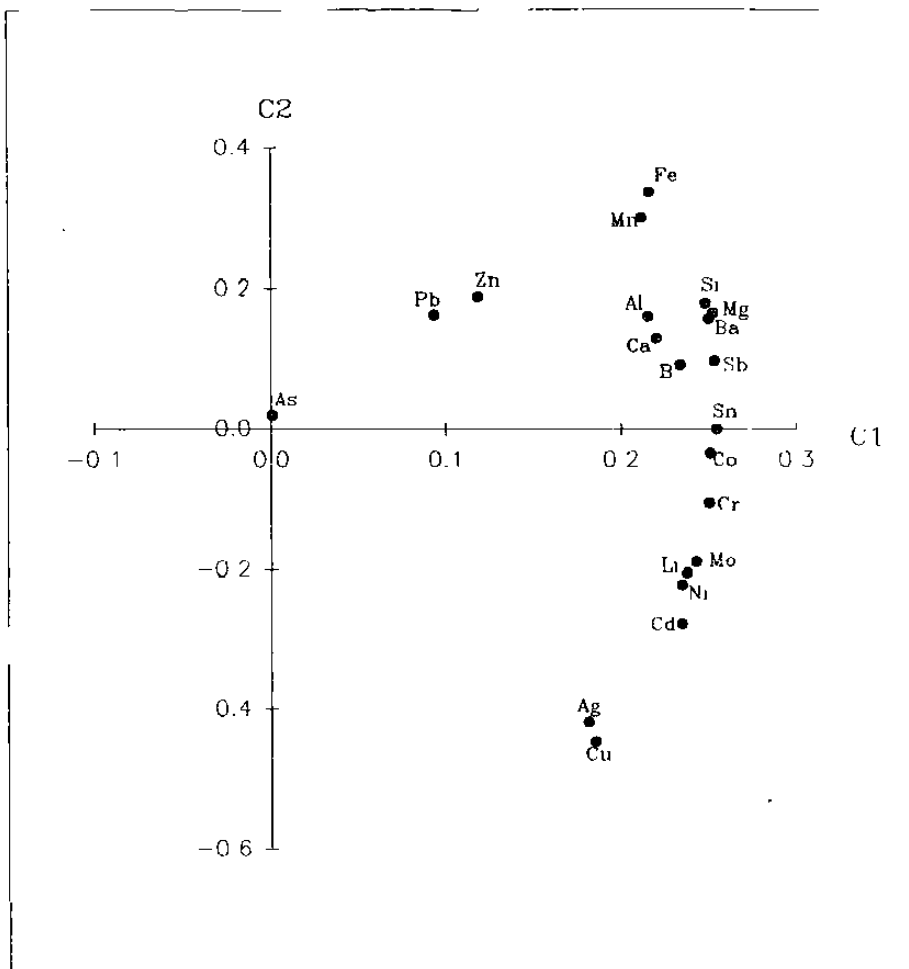


Figura 6. Diagrama de componentes principales para la masa de 21 metales en el Río San Juan.

Los resultados de los análisis de varianza para las masas de los metales pesados aparecen en la Tabla 17. En esta tabla se puede apreciar que excepto As, Pb y Zn, la gran mayoría de los parámetros mostraron diferencias significativas tanto en el eje espacio como en el eje tiempo. Algunos parámetros, como Al, Cu, Fe y Mn mostraron diferencias significativas entre las fechas de muestreo debido posiblemente a entradas o descargas estacionales no continuas, pero no entre las estaciones. Por su parte, metales como Sb, Ba, B, Cd, Ca, Co, Cr, Sn, Li, Mg, Mo, Ni, Ag y Si, mostraron diferencias significativas tanto en el tiempo como en el espacio debido a descargas puntuales y estacionales respectivamente. También es observable que las diferencias temporales son más significativas que las espaciales, a causa posiblemente de las grandes diferencias en el caudal del río.

Tabla 17. Resultados de los análisis de varianza de los metales pesados, expresados como masa que fluye por el río por unidad de tiempo.

PARAMETRO	R ²	CV	MF/DIA (mg/seg)	F	MODELO P>F	DIFERENCIAS ESPACIALES	DIFERENCIAS TEMPORALES
Al	0.54	161.25	226.08	4.51	0.0001	0.1001	0.0001
Sb	0.61	110.77	29.24	6.07	0.0001	0.0055	0.0001
As	0.23	783.85	11.65	1.15	0.3286	0.4325	0.2731
Ba	0.65	91.69	38.51	7.42	0.0001	0.0023	0.0001
B	0.71	75.09	103.82	9.45	0.0001	0.0001	0.0001
Cd	0.66	90.85	2.89	7.71	0.0001	0.0010	0.0001
Ca	0.63	95.94	90403.14	6.60	0.0001	0.0487	0.0001
Co	0.57	118.68	1.72	5.16	0.0001	0.0079	0.0001
Cu	0.62	130.76	5.72	6.46	0.0001	0.1250	0.0001
Cr	0.67	87.31	13.62	7.99	0.0001	0.0027	0.0001
Sn	0.67	91.53	28.96	7.95	0.0001	0.0004	0.0001
Fe	0.42	224.43	183.00	2.88	0.0014	0.1924	0.0005
Li	0.64	89.51	11.26	7.00	0.0001	0.0001	0.0001
Mg	0.58	109.03	10765.28	5.51	0.0001	0.0024	0.0001
Mn	0.46	160.40	16.53	3.37	0.0003	0.1382	0.0001
Mo	0.62	96.12	5.42	6.35	0.0001	0.0038	0.0001
Ni	0.63	96.52	8.25	6.63	0.0001	0.0056	0.0001
Ag	0.66	151.58	6.36	7.69	0.0001	0.0309	0.0001
Pb	0.27	257.13	1.69	1.45	0.1466	0.2436	0.1546
Si	0.60	121.92	4780.94	5.90	0.0001	0.0264	0.0001
Zn	0.27	315.94	26.74	1.47	0.1417	0.4120	0.0865

En la Tabla 18 se registran los resultados de la prueba de Tukey para las medias de las masas de los metales por estaciones. En primera instancia se puede observar que la estación más contaminada por metales pesados es la 8, ya que de los 21 metales en 14 de ellos presentó las medias más altas. Esto confirma los resultados del análisis espacial de las concentraciones. En general, las estaciones 8, 7 y 1 presentan medias similares en el extremo superior de los valores de las medias, mientras que las estaciones 2, 3 y 4 se asemejan en sus medias en el extremo inferior, y finalmente las estaciones 5 y 6 tienen valores intermedios.

Tabla 18. Resultados de la prueba de Tukey para las medias de las masas por estación; no existen diferencias significativas para las medias con la misma letra ($\alpha=0.05$).

METAL								
Al	477.7 A(8)*	395.2 A(1)	319.9 A(7)	201.7 A(6)	176.8 A(5)	85.2 A(4)	84.5 A(3)	67.6 A(2)
Sb	55.38A(8)	43.7 AB(6)	40.52 AB(5)	35.25 AB(7)	33.2 AB(1)	11.0 AB(2)	8.4 B(4)	6.1 B(3)
As	797.3 A(1)	76.8 A(5)	15.0 A(7)	1.6 A(6)	1.4 A(8)	0.6 A(2)	0.3 A(4)	0.2 A(3)
Ba	65.62A(1)	60.9 AB(8)	51.4 ABC(6)	44.6 ABC(5)	41.1 ABC(7)	20.0 ABC(2)	13.5 BC(4)	10.6 C(3)
B	214.8 A(1)	180.3 AB(8)	101.8 BC(6)	100.2 BC(7)	80.7 BC(5)	69.0 C(2)	57.5 C(4)	26.0 C(3)
Cd	5.7 A(8)	3.89 AB(1)	3.4B(7)	3.3 AB(5)	3.28 AB(6)	1.3 B(2)	1.1 B(4)	0.8 B(3)
Ca	154221.0 A(8)	125606.0 AB(3)	104799.0 AB(6)	97977.0AB(1)	93537.0 AB(7)	69583.0AB(2)	45117.0 AB(3)	32386.0 B(4)
Co	3.2 A(8)	2.9 AB(6)	2.1 AB(1)	2.0 AB(5)	1.9 AB(7)	0.5 AB(2)	0.5 AB(4)	0.3B(3)
Cu	9.6 A(7)	8.3 A(5)	7.4 A(8)	7.4 A(6)	6.1 A(1)	3.0 A(4)	2.5 A(2)	1.3 A(3)
Cr	22.5 A(8)	18.4 AB(1)	17.8 AB(5)	17.0 AB(7)	17.0 AB(6)	6.8 AB(2)	5.6 B(4)	3.5 B(3)
Sn	59.4 A(8)	41.0 AB(1)	34.8 AB(6)	33.1 AB(5)	32.7 AB(7)	12.6 B(2)	10.5 B(4)	7.7 B(3)
Fe	529.8 A(8)	257.3 A(7)	196.4 A(6)	178.0 A(5)	114.3 A(1)	68.1 A(4)	63.5 A(2)	56.6 A(3)
Li	25.5 A(8)	16.1 AB(7)	12.3 AB(5)	11.5 AB(1)	10.9 B(6)	5.0 B(4)	4.1 B(2)	3.6 B(3)
Mg	2445 A(8)	15268.0 AB(1)	12065.0 AB(7)	11533.0 AB(6)	10869.0AB(5)	49 B(2)	41 B(4)	28.8 B(3)
Mn	33.1 A(8)	28.9 A(7)	22.2 A(5)	18.2 A(6)	10.4 A(4)	7.7 A(2)	6.2 A(3)	5.2 A(1)
Mo	9.4 A(8)	8.2 B(1)	7.4 AB(6)	6.3 AB(5)	5.8 AB(7)	2.7 AB(2)	2.0 B(4)	1.3 B(3)
Ni	13.7 A(7)	13.7 A(8)	11.1 AB(1)	8.6 AB(5)	8.5 AB(6)	4.7 AB(2)	3.2 AB(4)	2.1 B(3)
Ag	14.7 A(8)	9.0 A(7)	8.3 A(5)	7.9 A(1)	6.4 A(6)	1.6 A(4)	1.4 A(2)	1.3 A(3)
Pb	5.3 A(5)	2.2 A(8)	1.4 A(1)	1.4 A(7)	1.0 A(6)	0.8 A(2)	0.6 A(4)	0.4 A(3)
Si	9337.0 A(8)	6333.0 A(6)	6122.0 A(5)	59 A(7)	5840. A(1)	18.0 A(4)	1460.0 A(3)	1179.0 A(2)
Zn	87.8 A(1)	40.52A(8)	22.9 A(7)	20.8 A(6)	18.2 A(5)	14.6 A(2)	5.9 A(4)	2.8 A(3)

(*)#= Número de estación

Por otra parte, en la Tabla 19 aparecen los resultados de la prueba de Tukey para las medias de las masas en las diferentes fechas de muestreo.

Tabla 19. Resultados de la prueba de Tukey para las medias de las masas en las fechas de muestreo; no existen diferencias significativas entre las medias con la misma letra. Las fechas aparecen enumeradas entre paréntesis ($\alpha=0.05$).

MFTAL										
Al	1004.6	624.6	253.1	129.0	96.5	89.5	26.1	21.2	9.9	6.4
Sb	98.8	70.7	41.1	35.8	20.3	7.1	6.6	6.1	3.2	2.4
As	1102.5	3.3	3.3	2.1	1.8	1.6	0.7	0.6	0.4	0.2
Ba	125.5	82.1	53.4	45.1	39.2	13.2	11.6	7.0	5.7	1.9
B	265.5	210.0	184.0	159.0	101.0	37.1	36.6	20.8	14.2	3.6
Cd	9.5	5.1	4.2	4.0	3.2	0.9	0.7	0.5	0.2	0.1
Ca	249763.0	221966.0	201935.0	80481.0	78451.0	29461.0	26963.0	9606.0	4739.0	665.9
Co	4.9	4.8	2.7	1.9	1.0	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1
Cu	27.8	8.0	7.5	7.4	4.0	0.7	0.6	0.4	0.4	0.5
Cr	35.9	32.3	31.1	15.0	10.5	3.7	3.3	2.2	0.9	0.9
Sn	84.2	73.5	46.6	32.1	31.1	7.0	5.9	3.7	2.8	2.3
Fe	928.9	405.8	203.0	95.4	82.2	37.2	37.0	28.4	6.5	5.6
Li	31.4	19.9	18.7	16.4	12.0	5.9	3.7	2.2	1.0	0.9
Mg	33548.0	22959.0	16033.0	13972.0	10285.0	3529.0	3476.0	1739.0	1228.0	882.0
Mn	65.0	28.5	27.8	18.8	15.1	5.6	2.7	0.6	0.4	0.2
Mo	16.2	11.1	9.3	7.3	3.8	2.7	1.4	0.7	0.7	0.5
Ni	25.0	17.5	16.0	8.9	7.3	2.4	1.8	1.5	1.0	0.6
Ag	38.8	7.4	5.7	4.9	3.8	1.2	0.5	0.5	0.2	0.1
Pb	5.5	4.0	2.8	1.9	1.2	0.7	0.1	0.1	0.1	0.1
Si	18713.0	11614.0	6592.0	3667.0	3.2	1301.0	1065.0	725.0	472.0	125.0
Zn	117.8	73.4	40.4	24.8	5.6	2.0	1.2	0.9	0.8	0.1

En este caso se delinea una tendencia más o menos clara, en la cual la contaminación va disminuyendo de los primeros muestreos a los últimos. Esto aparentemente se contradice con el análisis temporal de las concentraciones, pero esto en

realidad no es así, ya que el factor determinante para que esto ocurra es el caudal del río. En los primeros muestreos la concentración de los metales es más baja debido a que el río conduce un mayor volumen de agua por las recientes lluvias de verano, pero en realidad la carga de contaminantes es mayor, mientras que en los últimos muestreos, debido a la sequía la cantidad de contaminantes en el río es menor aunque su concentración sea mayor. Esto puede deberse a que las industrias aprovechan la época de lluvias para descargar en el drenaje mayores cargas de tóxicos, al lavado de las ciudades por las lluvias que ocurren en esas fechas, al incremento en la carga de sedimentos suspendidos producto de la erosión hídrica de la cuenca, o a una combinación de todos estos procesos.

4.7 Modelado estadístico

Aunque existieron diferencias estadísticas entre las masas de algunos contaminantes, tanto en tiempo como en espacio, algunos de estos siguieron comportándose como variables continuas por el efecto de difusión de los contaminantes en el río. Por esta razón, a estos parámetros se les ajustó un modelo probabilístico para tener una referencia sobre la probabilidad actual de excedencia de la norma para calidad del agua, y conocer como esta probabilidad puede cambiar en tiempo y en espacio en los próximos tiempos o en los tiempos pasados. La distribución Weibull no sólo indica la probabilidad de excedencia de un cierto valor sino que también dá los límites de excedencia, y se puede solucionar para conocer los parámetros estadísticos tales como el promedio, la moda, varianza y la desviación estándar.

Tabla 20. Parámetros de la Distribución Weibull para los metales pesados.

PARAMETRO	α	β	ϵ
Al	1.1557	0.2984	0.0000
Sb	0.7838	0.0465	0.0321
Ba	3.7244	0.0666	0.0079
B	1.7129	0.2346	0.0629
Cd	2.1492	0.0060	0.0015
Cu	1.4605	0.0082	0.0000
Cro	2.8977	0.0222	0.0014
Sn	1.6742	0.0501	0.0233
Fe	1.3738	0.3411	0.0052
Li	1.4661	0.0254	0.0064
Mg	1.5067	20.9632	9.3593
Mn	0.8835	0.0473	0.0000
Mo	3.0506	0.0101	0.0000
Ni	2.3164	0.0169	0.0019
Ag	0.9669	0.0084	0.0024
Zn	1.3749	0.0188	0.0000

Tabla 21. Parámetros de la Distribución Weibull para los parámetros físico-químicos.

VARIABLE	α	β	ϵ
Alcalinidad	3.0665	211.9609	38.6258
Cloruros	2.2533	66.9167	17.6459
Color	1.3173	53.7247	0.0000
Conductividad Eléct	1.4148	914.6788	556.8877
Dureza Total	1.8594	387.4776	202.0174
Fosfatos	1.2387	0.1114	0.0078
Nitros	0.8432	0.0129	0.0008
Oxígeno Disuelto	2.4727	9.6771	4.1469
pH	2.8994	7.9049	7.0767
Sólidos Disueltos Tot.	1.7739	753.1493	380.7058
Sólidos Susp. Tot.	0.9033	14.2133	1.8303
Sólidos Totales	1.8089	774.572	393.8432
Sulfatos	1.9271	202.6716	62.1839
Turbiedad	1.7286	8.4564	0.0000

Para verificar la bondad del ajuste de la Distribución Weibull a las variables estudiadas se recurrió a la prueba de χ^2 . Para ello los datos se distribuyeron en ocho clases, y los grados de libertad se calcularon con:

$$G.L. = \text{Número de clases} - 1 - (\text{número de parámetros del modelo}) \quad (9)$$

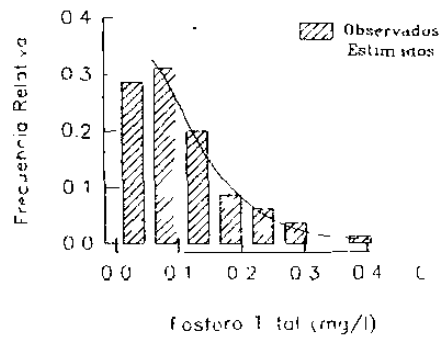
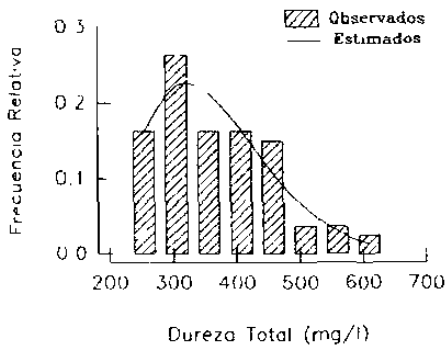
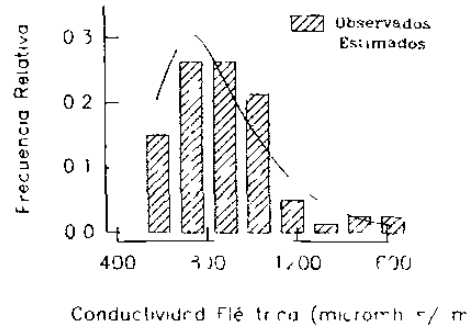
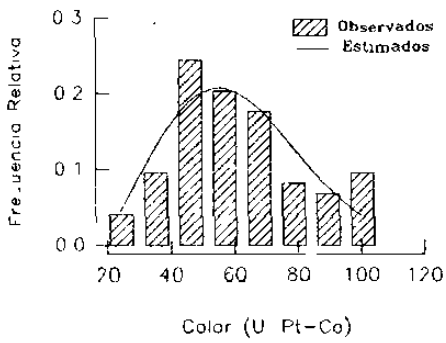
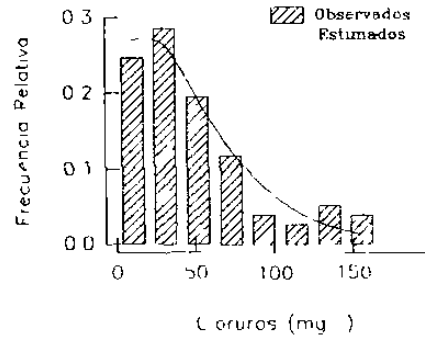
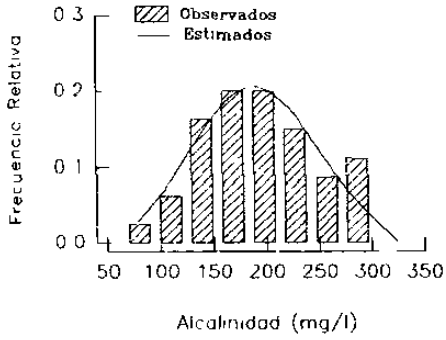
es decir:

$$G.L. = 8 - 1 - (3) = 4.$$

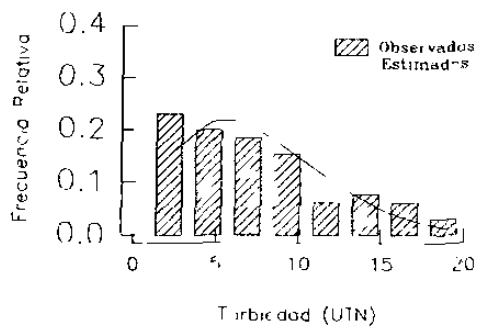
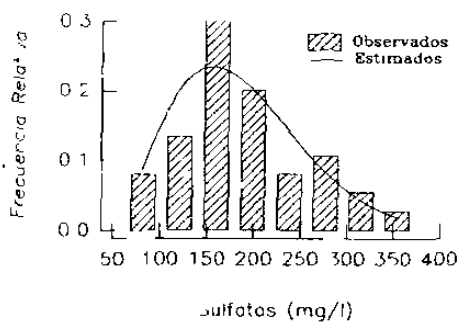
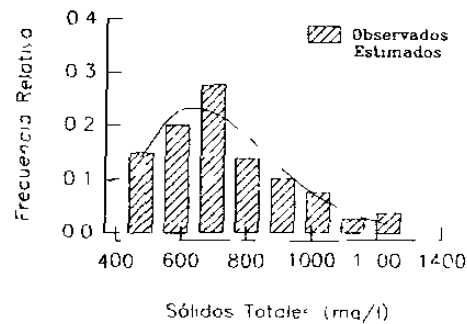
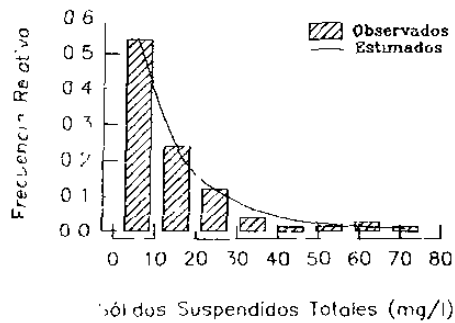
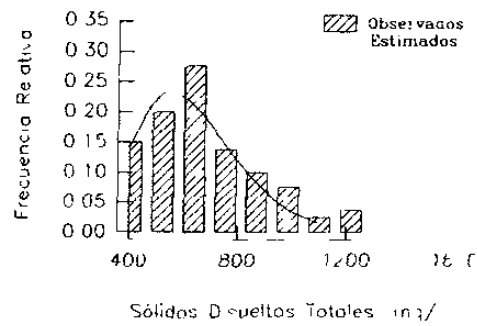
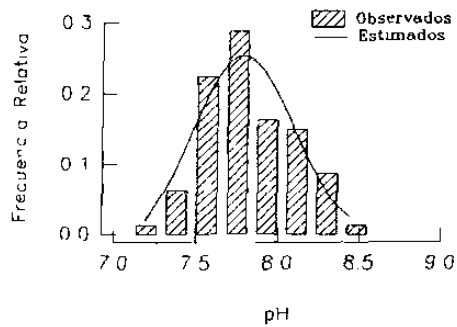
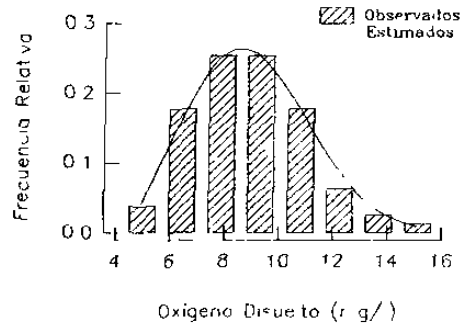
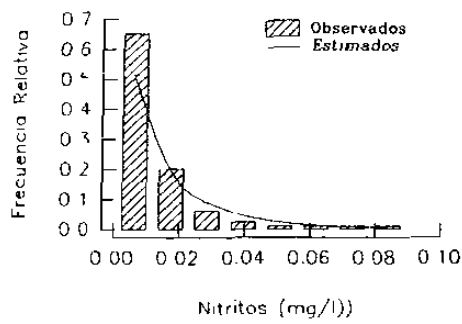
Los correspondientes valores de χ^2 tanto la calculada como la teórica aparecen en la Tabla 22; los ajustes pueden apreciarse gráficamente en las Figuras 7 a 36.

Tabla 22. Valores de χ^2 para las variables de estudio ($\chi^2_{0.95} = 9.49$; $\chi^2_{0.99} = 13.3$, con 4 G.L.)

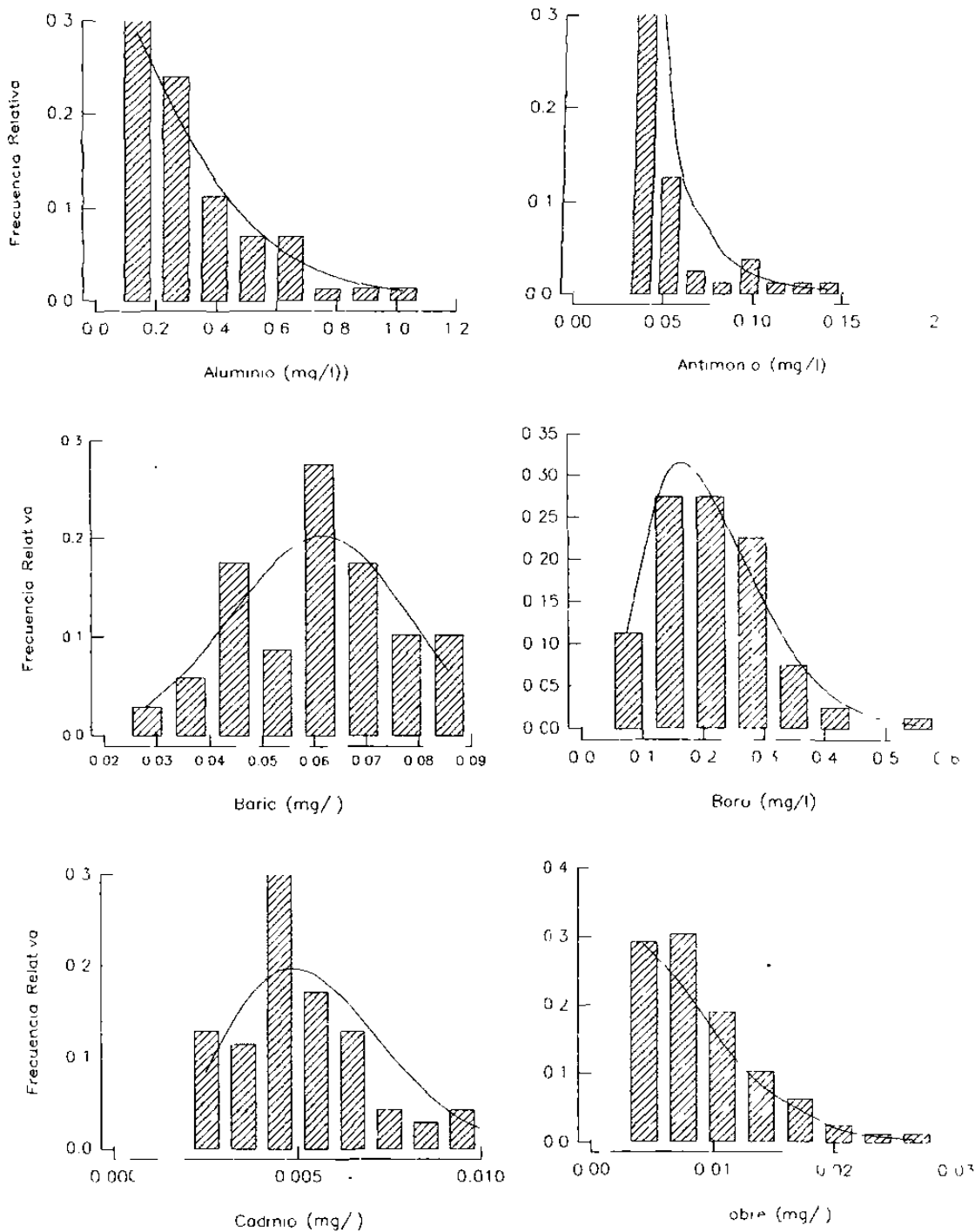
PARAMETRO	χ^2	PARAMETRO	χ^2
Al	9.93	Alcalinidad	2.28
Sb	12.70	Cloruros	9.46
Ba	8.46	Color	9.37
B	4.48	Conductividad Eléc	9.40
Cd	11.91	Dureza Total	4.62
Cu	6.79	Fosfatos	3.80
Cr	2.44	Nitritos	7.08
Sn	4.41	Oxígeno Disuelto	1.06
Fe	5.76	pH	4.35
Li	3.18	Sólidos Disueltos Tot.	5.97
Mg	8.54	Sólidos Susp. Tot	4.83
Mn	7.41	Sólidos Totales	5.16
Mo	2.10	Sulfatos	7.31
Ni	8.20	Turbiedad	5.81
Ag	5.78		
Zn	6.47		



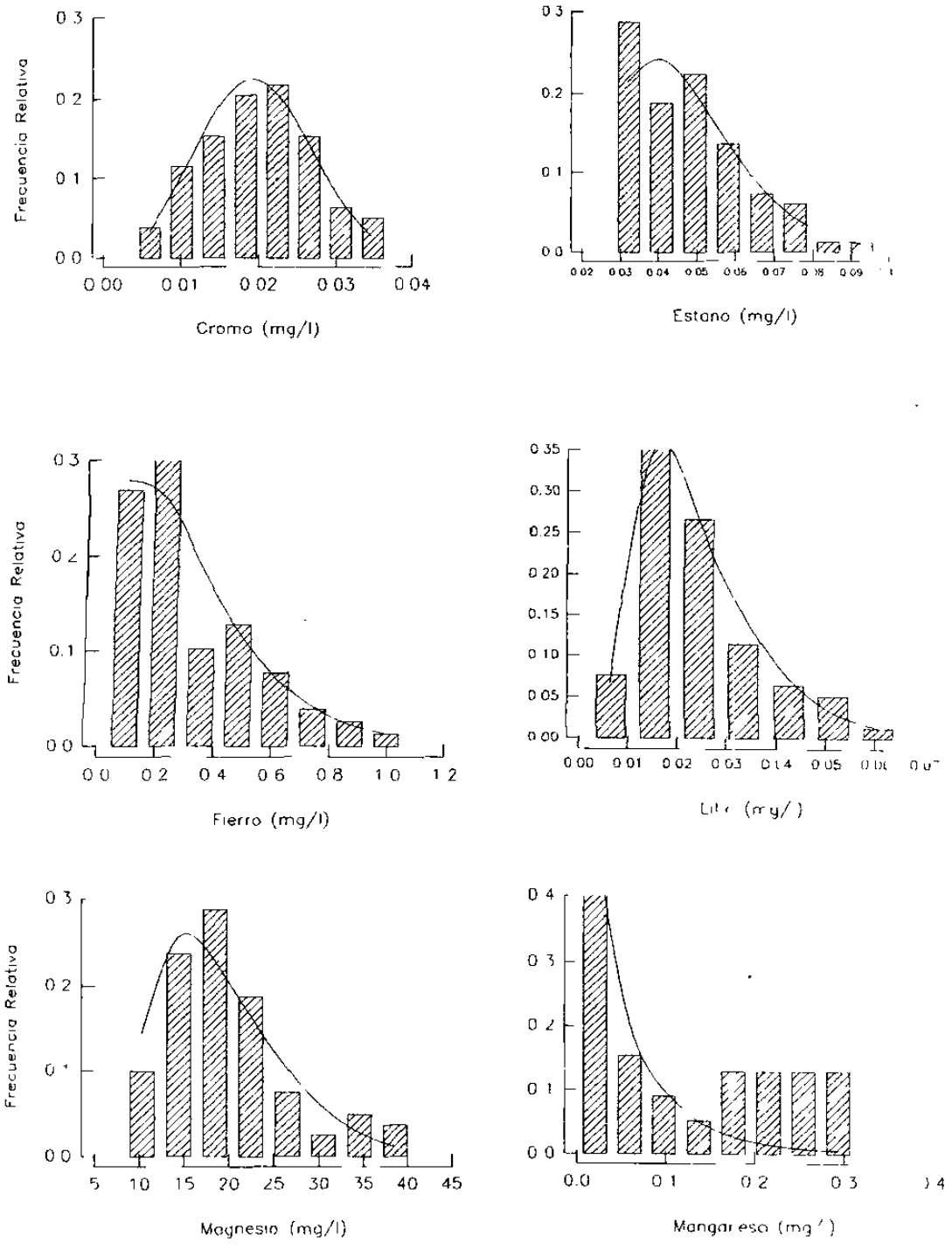
Figuras 7-12. Ajuste de la Distribución Weibull a los parámetros físicos y químicos de 80 muestras de agua del Río San Juan colectadas de octubre de 1995 a julio de 1996



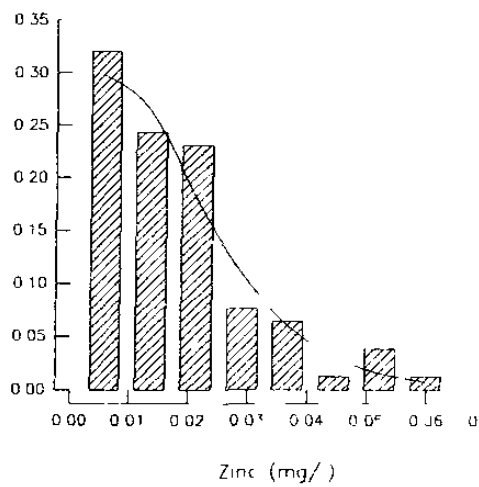
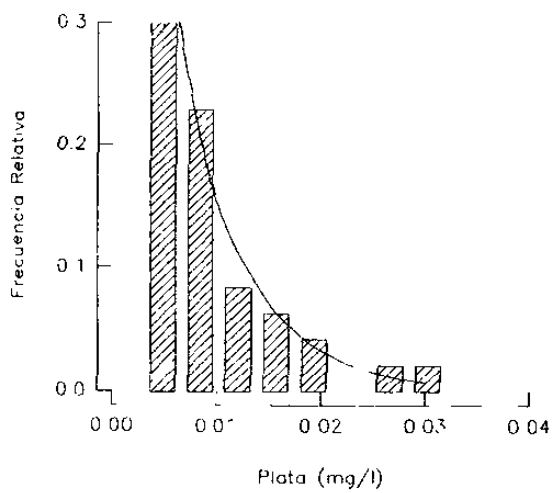
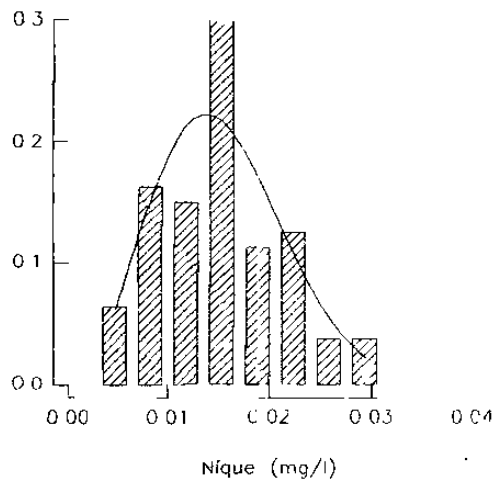
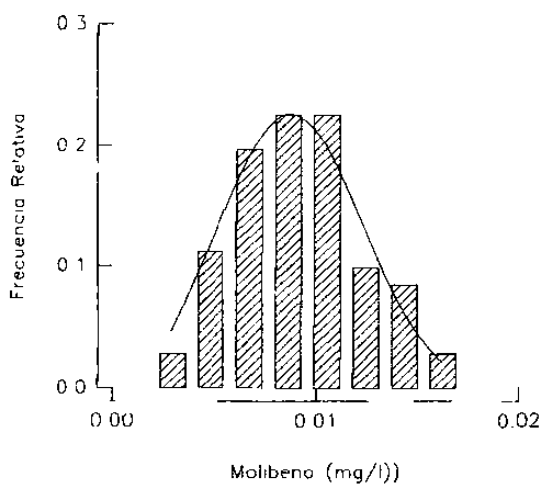
Figuras 13 20. Continuación.



Figuras 21 - 26. Ajuste de la Distribución Weibull a los metales pesados de 80 muestras de agua colectadas del Río San Juan de octubre de 1995 a julio de 1996



Figuras 27-32. Continuación.



Figuras 33 36. Continuación.

Como último paso se calculó la probabilidad de que determinado parámetro excediera las normas, para lo cual se tomaron tres de ellas: la Norma Oficial Mexicana para agua potable, la Norma para Fuente de Abastecimiento y la Norma para Protección de la Vida Acuática. La probabilidad se calculó con la siguiente ecuación:

$$P(x > x_i) = \exp(-((x - \epsilon) / (\beta - \epsilon))^\alpha) \quad (10)$$

Los resultados de la aplicación de la anterior ecuación utilizando los parámetros para cada variable y tomando como "X" las normas, aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 23. Probabilidad de que los metales pesados excedan las normas de calidad del agua, calculada mediante la Distribución Weibull.

METAJ	NOM	FA	PVA
Al	0.53	0.96	0.88
Sb	ND*	0.03	0.05
Ba	0.00	0.00	0.99
B	ND	1.11E-08	ND
Cd	0.56	0.02	ND
Cu	0.00	0.00	ND
Cr	8.31E-06	8.31E-06	0.93
Mn	0.73	0.84	ND
Ni	ND	0.92	ND
Zn	0.06	2.09E-27	ND

* No Disponible

Como puede apreciarse en esta última tabla los riesgos más altos son para la vida acuática, por las altas probabilidades de contaminación por bario, cromo y aluminio. Fu

cuanto al uso del agua para fuente de abastecimiento existe un alto riesgo de contaminación por aluminio, níquel y manganeso. Aunque los valores de probabilidad de contaminación del agua para ser usada en el consumo humano parecen ser los más bajos, hay que recordar que existe un fuerte problema de contaminación bacteriológica que no se pudo modelar probabilísticamente por la gran variación de los datos.

Por último, se llevó a cabo la prueba de varios modelos estadísticos tanto lineales, intrínsecamente lineales como no lineales (lineal, logarítmico, exponencial, de potencia y el de Chapman-Richards), partiendo de los datos de las masas promedio de todos los metales tanto por estación como por fechas. Los propósitos de los modelos regresivos obtenidos hasta ahora, con la limitante de la pequeña fuente de datos, es parcialmente de predicción y de explicación del fenómeno de la contaminación.

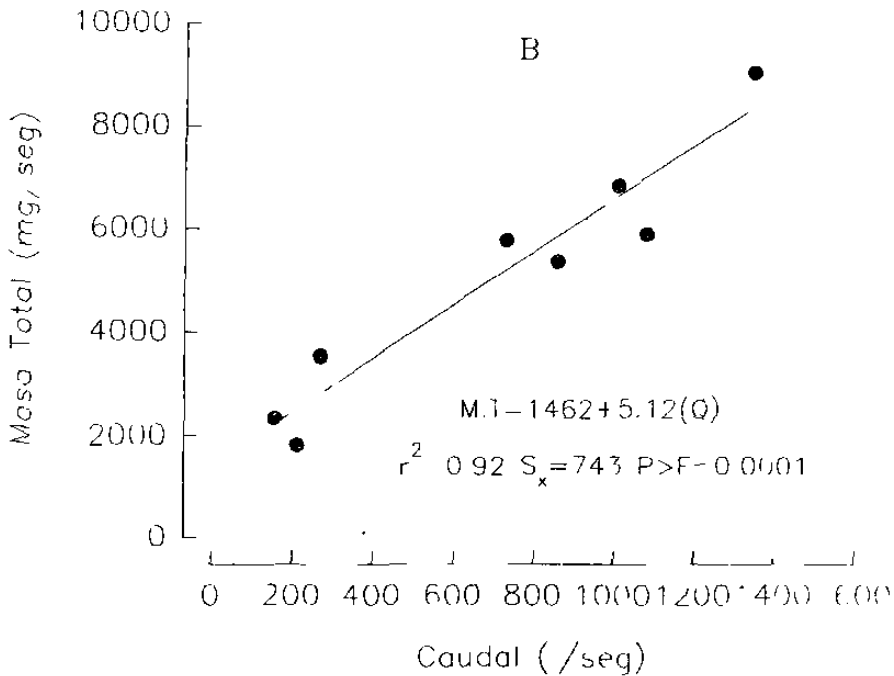
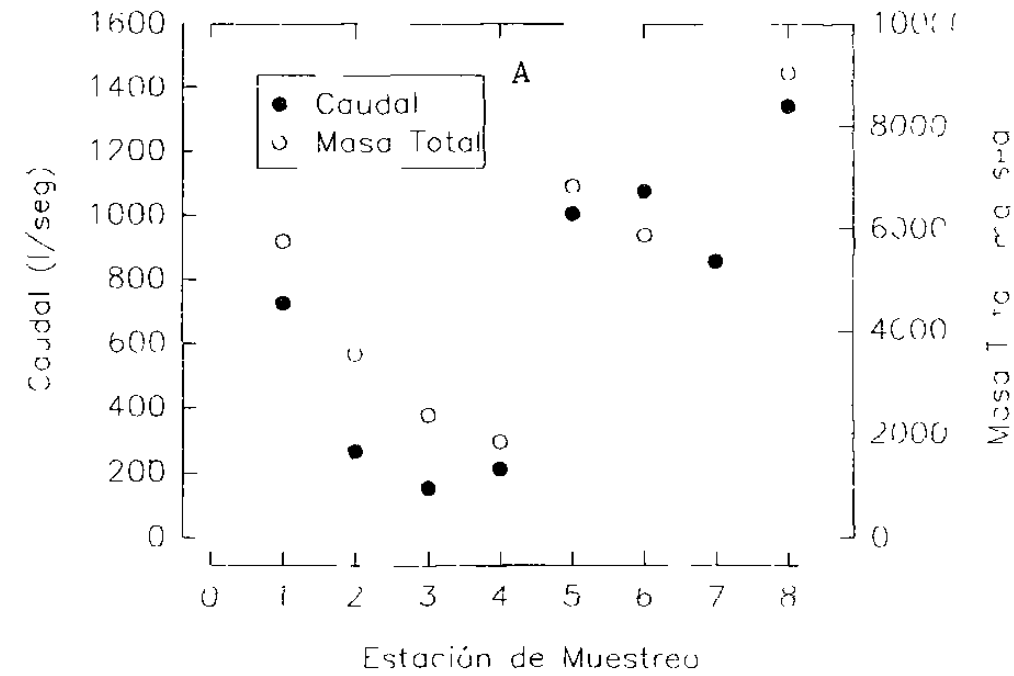
En la Figura 37-A puede observarse la distribución de la masa total de los contaminantes en las estaciones, así como la del caudal. Se observa la íntima relación entre ambas variables, así como también la tendencia de la masa a disminuir de la estación 1 a la 4 posiblemente por dilución de los contaminantes introducidos en la estación 1, y nuevamente subir de la estación 5 a la 8 debido a la entrada de nuevos contaminantes aportados por otras corrientes (ríos y arroyos) que fluyen al Río San Juan.

En la Figura 37-B se puede ver el modelo lineal ajustado a los datos de masa total de los contaminantes promedio de las estaciones. Según el modelo, por cada incremento de 1 l en el caudal, la masa de contaminantes se incrementa en 5.12

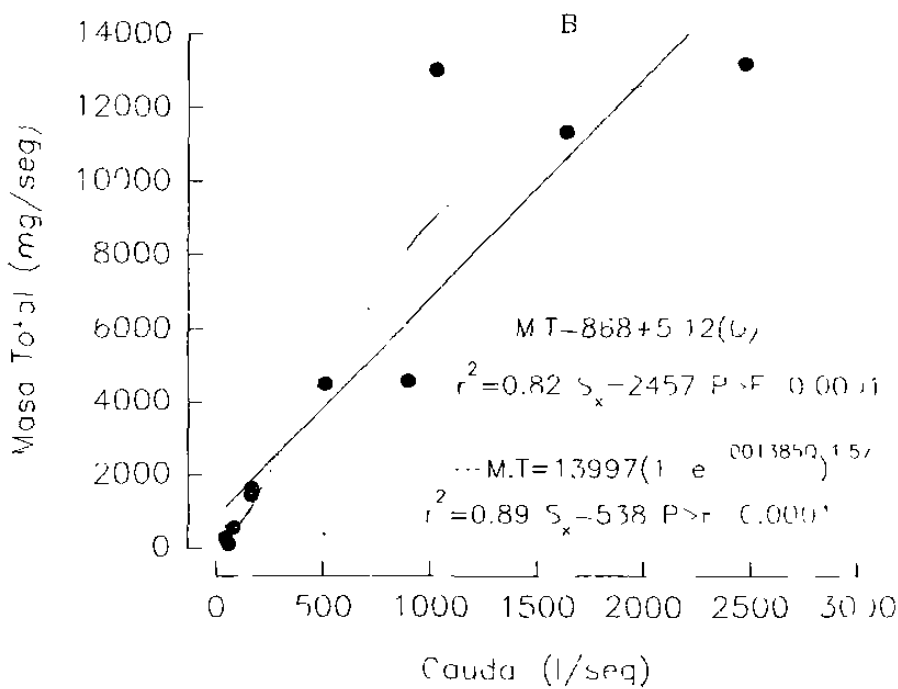
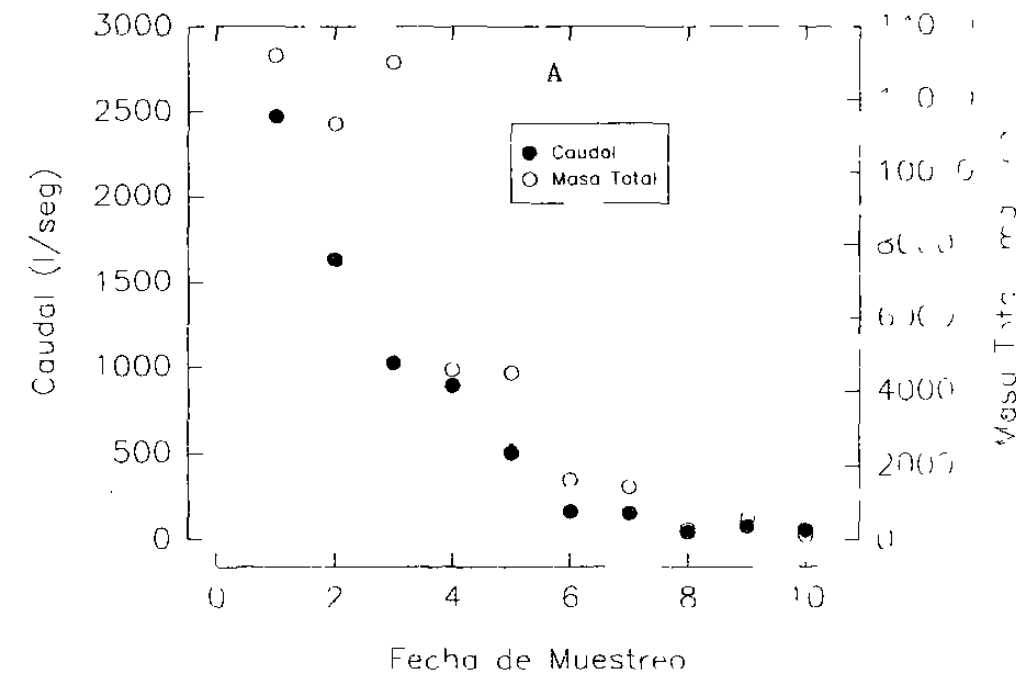
En la Figura 38-A, puede apreciarse la distribución de la masa total de contaminantes promedio así como la del caudal a lo largo de las diferentes fechas de muestreo. Aquí se confirma una vez más la muy estrecha relación entre el caudal y la masa total de contaminantes ya que conforme desciende el caudal así lo hace la masa; aunque esto sugiere una tendencia no se creyó conveniente ajustar un modelo predictivo ya que la tendencia mostrada es de una reducción exponencial, sin embargo, es poco probable que la contaminación tome un valor de 0, y si en cambio es posible esperar que en cuanto se presenten nuevas lluvias y escurrimientos el nivel de las masas contaminantes se vuelva a incrementar. Para ajustar un modelo es necesario contar con varios años de información que confirmen la ciclicidad del fenómeno.

Para el período de estudio, se ajustaron el modelo lineal para probar la consistencia de la relación existente entre el caudal y la masa total mostrada anteriormente, así como el modelo de Chapman-Richards, para los valores de masa total promedio por fecha de muestreo; esto puede observarse en la Figura 38-B. Para este caso, el modelo lineal sigue teniendo buen ajuste y es concordante con el modelo lineal para estaciones, sin embargo, se observa que el modelo de Chapman-Richards tiene un mejor ajuste ya que los puntos superiores de la gráfica empiezan a demostrar un

declinamiento en la masa, lo que es lógico ya que es factible esperar que la contaminación tenga un límite y no se incremente hasta el infinito, o bien que una vez que las lluvias han lavado los contaminantes acumulados en la cuenca en el período de estiaje, sólo aparezcan en el agua los contaminantes que se incorporan recientemente.



Figuras 37 A y B. (A) Distribución espacial del caudal y de las masas totales de metales. (B) Modelo lineal para las masas totales en función del caudal.



Figuras 38 A y B. Distribución temporal del caudal y de las masas totales de metales. (B) Modelos lineal y de Chapman Richards para el cálculo de la masa en base al caudal.

5. DISCUSIÓN

5.1 Calidad del agua para consumo humano y como fuente de abastecimiento

Según se observa en las Tablas 7 y 8, existen problemas de contaminación en el Río San Juan, que hacen que el agua no sea apta para consumo humano, inclusive ni como fuente de abastecimiento. Existen fuertes problemas de contaminación con coliformes que pueden causar enfermedades gastrointestinales a los pobladores marginados y de escasos recursos que habitan en las riberas o en las cercanías del río, y que un momento dado hicieran uso del agua del mismo.

Existen además concentraciones excesivas de metales pesados, principalmente Al, Cd, Fe, Mn y Ni, los cuales también pueden causar trastornos de salud.

Otros problemas que deterioran la calidad del agua son las grasas y aceites, los sólidos disueltos, los fosfatos y los nitratos.

Todos estos problemas ponen de manifiesto la necesidad de llevar a cabo un muy eficiente proceso de prevención de la contaminación y de tratamiento del agua de este río al llegar a la presa "El Cuchillo" y antes de ser enviada a la ciudad de Monterrey para consumo humano.

Existe una planta de tratamiento de agua en la presa “El Cuchillo”, lo que hace suponer que se envía agua de buena calidad, sin embargo, el análisis químico de dicha agua quedó fuera de los alcances de este proyecto, por lo que no es posible hacer una afirmación de cualquier índole sobre este particular.

5.2 Calidad del agua para mantenimiento de la vida acuática

Para los propósitos del presente trabajo, es de fundamental importancia estudiar los parámetros de calidad del agua y como estos impactan sobre la fauna y flora dulceacuícolas, por lo que se le ha dado una especial atención a este aspecto.

Según los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua de la Comisión Nacional del Agua, la norma para protección de la vida acuática establece que los fosfatos totales, medidos como fósforo, no deberán exceder de 0.05 mg/l en influentes a lagos o embalses (presas), para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y para controlar la eutroficación acelerada (proceso de enriquecimiento del agua). De acuerdo a los resultados obtenidos, el 72.5% de las observaciones de fósforo exceden el límite antes citado, y en la estación 8, la más cercana a la presa “El Cuchillo”, el 70% de las observaciones se excedieron

Por otro lado, Brooks *et al* (1992), señalan que si el fósforo está presente solamente se requiere alrededor de 0.30 mg/l de nitrato para que se produzca un

incremento en la población de algas. Los resultados de este trabajo indican que un 64% de las observaciones excedieron el valor de 0.30 mg/l.

Tomando en consideración los dos aspectos antes mencionados cabría esperar en el futuro un incremento en el crecimiento de algas y otras especies indeseables y una aceleración de la eutroficación en la presa "El Cuchillo".

Brooks *et al* (1992), indican que en general, las aguas naturales deben contener menos de 90 mg/l de sulfatos para mantener una fauna piscícola deseable. En este estudio se determinó que el 93.75% de las observaciones excedieron el valor antes mencionado, lo que implica que los sulfatos pueden ser un factor limitante para la vida de los peces

En cuanto a la disponibilidad de oxígeno, se puede afirmar que por el momento éste no es un factor limitante para los peces, ya que se encuentra en concentraciones por encima del mínimo requerido. Sin embargo, el 33.75% de las mediciones de la demanda bioquímica de oxígeno excedieron el límite permitido, el cual señala que debe ser menor de 3 mg/l (MacDonald, 1991). Esto indica un posible aumento de la actividad bacteriana para oxidar la materia orgánica, tendencia que si se mantiene puede bajar en un futuro los niveles de oxígeno disuelto.

Otro factor a considerar es que al acelerarse el proceso de enriquecimiento del agua con materia orgánica, y consecuentemente disminuir los niveles de oxígeno disuelto,

e incrementar la demanda bioquímica de oxígeno, se aumenta la susceptibilidad de la fauna acuícola a ser dañados por la exposición a sustancias tóxicas, entre ellas metales pesados.

MacDonald (1991) señala que la capacidad del agua para mantener el oxígeno en solución es inversamente proporcional a su temperatura. Tebutt (1994), agrega que un aumento en la temperatura no sólo disminuye la solubilidad del oxígeno, sino que también aumenta los requerimientos de este elemento por los peces; cita que un aumento de 10 grados en la temperatura incrementa el requerimiento de los peces en 2 o 3 veces.

Sin embargo, esto no pudo ser confirmado mediante este estudio, ya que el análisis de correlación entre concentraciones mostró un valor muy bajo entre ambos parámetros. Aún así, hay que considerar esta información, ya que las variaciones de temperatura en esta región son muy altas; para el periodo de estudio se presentó una temperatura mínima del agua de 10 °C en el mes de enero de 1996 y una máxima de 35 °C en el mes de julio del mismo año. Las variaciones de temperatura no sólo son grandes de una estación a otra sino también de un día a otro, o incluso dentro de un mismo día; además las temperaturas en el verano son bastante altas lo que reduce la solubilidad del oxígeno.

Dado que el agua que corre por este río es almacenada en la presa ya mencionada, existe la posibilidad de que los metales pesados que se hayan sedimentado en el fondo de

la misma, puedan ser liberados nuevamente al agua debido a las condiciones anaeróbicas que se podrían crear en esta parte del embalse. por los procesos de eutroficación mencionados anteriormente..

Tomando en cuenta que el pH del agua del río, y consecuentemente de la presa es alcalino, cabe esperar que una gran proporción de los metales pesados se precipiten y se sedimenten en el fondo, tanto del río como de la presa. En los meses de agosto, septiembre y octubre de cada año, en que ocurren los mayores eventos de precipitación. debido a los grandes escurrimientos que bajan por el río, se puede esperar que haya una resuspensión de dichos metales y un lavado que los conduciría hasta la presa, donde nuevamente se pueden sedimentar. Pero, el problema no termina ahí, Colinvaux (1982), aclara que los contaminantes se pueden volver a introducir al sistema acuático al redisolverse o cuando los animales que se alimentan de desperdicios se comen el lodo del fondo de la presa

Por otro lado, la concentración de detergentes fue excesiva en un 23.61% de los casos, según la norma para protección de la vida acuática. Los detergentes pueden acelerar el proceso de eutroficación por su contenido de fosfatos, y pueden afectar a los peces dificultando la absorción de oxígeno. Al respecto, Gutiérrez (1980), menciona que los detergentes pueden alterar las branquias o los quimiorreceptores gustativos de los peces, por lo que tendrán una menor tolerancia a bajas concentraciones de oxígeno lo que en última instancia causa la muerte de los mismos.

Otro factor que puede dificultar la respiración de los peces, es la presencia de grasas y aceites, ya que estas dificultan la transferencia de oxígeno.

Es importante analizar parámetros tales como sólidos suspendidos, turbiedad y color aparente (color debido a los sólidos en suspensión), que están fuertemente correlacionados. Si la turbiedad y el color aparente aumentan, como consecuencia de un incremento en la concentración de sólidos suspendidos y/o la reducción del caudal, disminuye la penetración de la luz, afectando a la fotosíntesis que se realiza en el agua, lo que baja los niveles de oxígeno, poniendo en peligro a las formas de vida acuáticas.

Aunque no se hicieron mediciones de la profundidad del nivel de compensación de la luz (profundidad en el agua a la cual la fotosíntesis se iguala con la respiración) en la presa, conviene revisar como se comportaron dichos parámetros. Se pudo observar como tanto el color, la turbiedad y la concentración de sólidos suspendidos se incrementó considerablemente en los meses de junio y julio de 1996. Por ejemplo, la concentración promedio de sólidos suspendidos en los primeros 8 meses del estudio fue de 11.71 mg/l, mientras que el promedio de los 2 últimos meses fue de 54.19 mg/l; en el caso de turbiedad el promedio de los mismos 8 meses fue de 7.39 UTN y en los meses de junio y julio fue de 34.94 UTN. A lo anterior hay que agregar las circunstancias de que por la fuerte sequía el caudal del río fue disminuyendo fuertemente alcanzando sus valores más bajos en esos dos últimos meses.

Se encontró además, que varios metales pesados se correlacionaron con los sólidos suspendidos, entre ellos, Al, Co, Sb, Fe, Mn y Mo. Por su parte, los metales correlacionados con los sólidos disueltos fueron B, Cd, Sn, Cr, Li, Mg y Ni.

En la tabla 8, puede apreciarse que los principales problemas de contaminación con metales pesados y que amenazan a la vida acuática del Río San Juan, los constituyen Al, Ba y Cr.

Davis y Wiest (1971), mencionan que el aluminio es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre, pero que es también al mismo tiempo uno de los elementos menos móviles de la hidrósfera. Por lo tanto, su presencia en cantidades excesivas en el agua del río obedece no a causas naturales sino antropogénicas.

Por otro lado, De la Garza (1995), señaló que 7,120 industrias del área metropolitana de la ciudad de Monterrey, que constituyen el 89% de las 8,000 que existen, incumplen las normas particulares de descarga en el sistema de alcantarillado, agregó que los principales metales contaminantes son Al, As, Ba, Be, B, Cd, Fe, Ni, Sb y Hg.

Lo anterior confirma una vez más que la presencia de ciertas sustancias y elementos contaminantes, tienen su origen, al menos en parte, en las actividades humanas

de la cuenca del Río San Juan, especialmente del área metropolitana de la ciudad de Monterrey.

5.3 Variaciones espaciales y temporales

Mediante los diferentes análisis estadísticos efectuados fue posible establecer que existen marcadas diferencias tanto espaciales como temporales en el fenómeno de la contaminación del Río San Juan. El modelo de contaminación más simplista que se pudiera concebir sería aquel en el cual la contaminación mayor se presente en la estación 1 como consecuencia de la actividad urbana de la ciudad de Monterrey, para luego ir disminuyendo paulatinamente hasta la presa “El Cuchillo” por efecto de dilución y sedimentación de los contaminantes. Sin embargo, esto no es así, ya que a lo largo del río aparecen nuevas fuentes de contaminación, y lo más importante, existen muchas corrientes de agua que al incorporarse al río San Juan impactan su calidad; todas estas corrientes de agua atraviezan la zona citrícola del estado donde existen bastantes ciudades, poblados y asentamientos humanos, así como actividades agropecuarias de importancia.

Un hecho que llama la atención es que la estación más contaminada es la estación 8, ubicada en el poblado Las Enramadas, y es a la vez la más cercana a la presa “El Cuchillo”; esta situación no debería ser sobrestimada, porque esto pudiera tener repercusiones serias en el futuro.

Por otra parte, un modelo simplista para las variaciones temporales sería aquel que supusiera que la contaminación es un fenómeno estable a lo largo del año, sin variaciones de importancia. Pero, este trabajo reveló, para el periodo de estudio, que la contaminación, medida en masa, está estrechamente relacionada con el caudal del río y consecuentemente con las lluvias; medida en concentraciones, la contaminación está ligada a la época de sequía. Por ello, es posible pensar en el carácter cíclico o estacional de la contaminación. Sin embargo, es recomendable hacer estudios a largo plazo, que contemplen varios años de monitoreo.

El analizar los datos desde la perspectiva de las concentraciones, y desde la perspectiva de las masas, revela la existencia de dos situaciones de riesgo. Primero, cuando se habla de concentraciones hay que pensar que en la época de estiaje éstas aumentan llegando a exceder las normas y creando condiciones ambientales desfavorables para la fauna piscícola. Segundo, al hablar de masas, debemos centrar nuestra atención en la época de lluvias y de avenidas del río, ya que aunque bajan las concentraciones de los contaminantes, la carga de estos es mayor teniendo estos como destino final la presa "El Cuchillo", con todas las repercusiones que ello implica. Esto significa, por lo tanto, que el problema de la contaminación abarca todo el año, aunque con un comportamiento variable en su transcurso.

6. CONCLUSIONES

6.1 Los resultados de los análisis de laboratorio y su comparación con las normas en vigencia, revelan que existen problemas de contaminación del agua del Río San Juan. La presencia así como su exceso, de parámetros como coliformes fecales, detergentes, grasas y aceites, nitratos, y metales como el aluminio, son indicadores confiables de que existe contaminación.

6.2 El análisis espacial reveló que la estación 8, ubicada en el poblado "Las Enramadas" (muy cerca de la presa "El Cuchillo"), es la más contaminada, tanto en concentraciones como en masas, lo que denota su importancia.

6.3 La contaminación por metales pesados está muy relacionada con el caudal del río, ya que en la época de grandes escurrimientos la masa de contaminantes es mayor, y en la época de sequía la concentración aumenta notablemente.

6.4 En la época de estiaje, las condiciones ambientales en el seno del agua del río se vuelven adversas para la fauna piscícola, lo que puede conducir a la muerte de muchos especímenes, y poner en peligro de extinción a algunas especies.

6.5 Dado que la contaminación no se circunscribe al área metropolitana de la ciudad de Monterrey, sino que también se presenta aguas abajo y a grandes distancias de esta ciudad, se puede afirmar que en este río existe contaminación puntual (por descargas localizadas) y contaminación no puntual o difusa producto de los escurrimientos sobre la cuenca.

6.6 A pesar de la existencia del plan de saneamiento de la cuenca del Río San Juan, denominado **Plan Monterrey IV**, implementado por el Gobierno del Estado de Nuevo León, los problemas de contaminación persisten. La razón para ello es que este plan se avoca al tratamiento de las aguas residuales del área metropolitana de la ciudad de Monterrey y su desviación hacia el Río Pesquería, y no contempla al resto de la cuenca, donde también se genera contaminación.

6.7 La contaminación en esta cuenca (no sólo en el Río San Juan), es un fenómeno bastante complejo por la gran cantidad de variables que intervienen en ella, y es en definitiva producto del modelo de desarrollo económico y social vigente, y un reflejo de la actitud ignorante y despreocupada que el ser humano ha adoptado cuando interactúa con los recursos naturales.

7. RECOMENDACIONES

7.1 Es necesario intensificar los programas de monitoreo sobre todos los ríos de la cuenca, y ampliar el espectro de determinaciones realizadas.

7.2 Además de los rutinarios análisis de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, se deben hacer además análisis de metales pesados, pesticidas y compuestos orgánicos, para tener un panorama más completo de la contaminación.

7.3 Sería muy conveniente, además, realizar un monitoreo biológico, que se pueda correlacionar con los datos de los análisis de laboratorio. Esto en virtud del impacto que ha tenido y sigue teniendo la contaminación sobre la fauna acuática.

7.4 Los programas de saneamiento deben ampliarse a toda la cuenca del Río San Juan, y no limitarse al área metropolitana de la ciudad de Monterrey

7.5 Intensificar con la población las campañas de cuidado del agua, pero no solamente en el aspecto cuantitativo, sino ampliarlo al cualitativo, ya que una merma en la calidad significa también una merma en la cantidad de agua disponible

8. BIBLIOGRAFIA

Abaychi, J. K. and A. A. Z. DouAbul. 1985. Trace metals in Shatt Al-Arab river, Iraq. *Water Research*, Vol. 19, No. 4, pp: 457-462. Pergamon Press. Great Britain.

Albert, L. A. y G. F. Badillo. 1986. Plomo y zinc en organismos del Río Blanco, Veracruz. Congreso Mexicano de Química Pura y Aplicada, Oaxaca, 1986; *Revista de la Sociedad Química de México* Vol. 30, No. 5.

Andreoli, C. V. 1993. Influencia de la agricultura en la calidad del agua. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Anales de la consulta de expertos organizada por la FAO. Informes sobre temas hídricos No. 1. Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe. Santiago de Chile, pp:59-71.

Anónimo. 1990. Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, CE-CCA-001/89. *Gaceta Ecológica*, Vol. 2, No. 6, enero de 1990. México, D.F.

Anónimo. 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. *diario Oficial*, jueves 18 de enero de 1996.

Antonovics, J. 1971. *Advances in Ecological Research*. Vol. 7. Academic Press. London.

- APHA-AWWA-WPCF.** 1981. Standard methods for the examination of water and wastewater. Fifteenth Edition. American Public Health Association. Washington D.C.
- Báez, P. A., G. González, F. Solorio, y R. Belmont.** 1980. Determinación de plomo, cadmio, y cromo en la precipitación pluvial de la República Mexicana. Medio Ambiente, Vol. 2, No. 1, pp:35-46.
- Benes, P., M. Cejchanova, and B. Havlik.** 1985. Migration and speciation of lead in a river system heavily polluted from a smelter. Water Research, Vol. 19, No. 1, pp:1-6. Pergamon Press. Great Britain.
- Billard, R. and P. Roubad.** 1985. The effects of metals and cyanide on fertilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Water Research, Vol. 19, No. 2, pp:209-214. Pergamon Press. Great Britain.
- Boughriet, A., B. Ouddane, J. C. Fisher, M. Wartel, and G. Leman.** 1992. Variability of dissolved Mn and Zn in the Seine estuary and chemical speciation of these metals in suspended matter. Water Research, Vol. 26, No. 10, pp: 1359-1378. Pergamon Press. Great Britain.
- Brooks, K. N., P. F. Ffolliott, H. M. Gregersen, and J. L. Thames.** 1992. Hidrology and the management of watersheds. Iowa State University Press/ Ames. Second printing, p 392.
- Buckley, J. A., G. A. Yoshida, N. R. Wells, and R.T. Aquino.** 1985. Toxicities of total and chelex-labile cadmium to salmon in solutions of natural water and diluted sewage with potentially different cadmium complexing capacities. Water Research, Vol. 19, No. 12, pp:1549-1554. Pergamon Press. Great Britain.

- Cairns Jr., J., G. P. Patil and W.E. Waters.** 1979. Environmental biomonitoring, assessment, prediction and management- Certain case studies and related quantitative issues. International Co-operative Publishing House. Fairland, Maryland, U.S.A. pp:3-20.
- Chanlett, E. T.** 1973. Environmental Protection. McGraw-Hill.
- Colinvaux, P.** 1982. Introducción a la Ecología. Edit. limusa. México.
- Comisión Nacional de Ecología, SEDUE.** 1988. Informe general de Ecología. México D.F.
- Corey, G. y L.A.C. Galvao.** 1989. Plomo. Serie Vigilancia, No. 8. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. OPS-OMS. Metepec, Edo. de México.
- Davis, S.N. y J. M. DeWiest.** 1971. Hidrogeología. Primera Edición Española. Ediciones Ariel. Barcelona. p. 563.
- De La garza, J.** 1995. Incumplen normas 89% de industrias-Resúmen Noticioso. Revista Calidad Ambiental, Vol. II, No. 5, pp. 18
- El-Hassanin A. S., T. M. Labib and A. T. Dobal.** 1993. Potential Pb, Cd, Zn and B contamination of sandy soils after different irrigation periods with sewage effluent. Water, Air, and Soil Pollution 66:239-249. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Fergusson, J.E.** 1990. The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects. Pergamon Press. New Zealand.

- Forest Service, U.S.D.A. 1994.** Evaluating the effectiveness of forestry best management practices in meeting water quality goals or standards. *Miscellaneous Publication* 1520.
- Galvao, L. A. C. y G. Corey. 1987a.** Arsénico. Serie Vigilancia, No. 3. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. OPS-OMS. Metepec, Edo. de México.
- Galvao, L. A. C. y G. Corey. 1987b.** Cromo. Serie Vigilancia, No. 5, Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. OPS-OMS. Metepec, Edo. de México.
- Galvao, L. A. C. y G. Corey. 1987c.** Mercurio. Serie Vigilancia, No. 7. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. OPS-OMS. Metepec, Edo. de México.
- Gersberg, R. y Trindade F. 1989.** Metales pesados en sedimentos y peces del estuario de Tijuana, Baja California. *Salud Fronteriza*, Vol. 5, No. 3, pp: 5-10.
- González A. L. 1995.** Análisis económico de la contaminación de aguas en América Latina: El caso de México. *Análisis Económico de la Contaminación de Aguas en América Latina*. Publicada por el Centro Internacional para el Desarrollo Económico. Santiago, Chile. pp:27-103
- Goodell, P. C., S. R. Machorro and M. Mercado.** Trace Metal chemistry in the EP-CJ-SP region, Texas, Chihuahua, New Mexico; USA and Mexico- An independent interpretation of IBWC-CILA binational study of the Rio Grande/Rio Bravo. 1994. Second Inter-American Environmental Congress proceedings. 30 y 31 de agosto y 1 de septiembre 1995. ITESM-RICA. Monterrey N. L., México. pp: 73-76.
- Gutierrez C., T. 1980.** Detergentes y contaminación ambiental. *Simposium Sobre Problemas Ambientales en México*. IPN, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México DF. pp 321-345.

- Haan, Ch. T.** 1986. *Statistical methods in Hidrology*. The Iowa State University Press. Fourth printing. Ames, Iowa, U.S.A. p. 378.
- Hofmann, M. K.** 1993. *Procesos hidrogeoquímicos durante la génesis química del agua de “La Media Luna”, Río Verde, S.L.P., México*. Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares N. L., México.
- INEGI.** 1986. *Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León*. S.P.P. México D.F.
- International Boundary and Water Commission-Comisión Internacional de Límites y Aguas (IBWC-CILA).** 1994. *Binational study regarding the presence of toxic substances in the Río Grande/Río Bravo and its tributaries along the boundary portion between the United States and Mexico. Final Report*. p. 245.
- Joly C.** 1993. *El manejo de los nutrientes de las plantas y el ambiente. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines*. Anales de la consulta de expertos organizada por la FAO. Informes Sobre Temas Hídricos No. 1, pp:243-267.
- Kramar, U., C. J. Barbarín, H. Puchelt, H. W. Hubberten and F. Viera.** 1992. *Variations of heavy metals in sediments of the Río Catarina passing the city of Monterrey/Nuevo Leon, Mexico*. Zbl. Geol. Palaont. Teil 1, 1991. (6):1917-1925. Stuttgart.
- Krause, T. L., and E. L. Stover.** 1982. *Evaluating water treatment techniques for barium removal*. American Water Works Association Journal, Vol 74, No. 9, pp. 478-485. Denver, Co., U.S.A.

- Kumar, S.** 1989. Heavy metal pollution in Gomti river sediments around Lucknow, Utar Pradesh. *Current Science*, Vol. 58, No. 10, pp: 557-559.
- Lagerwerff, J. V. and D. L. Brower.** 1972. Exchange absorption of trace quantities of cadmium in soils treated with chlorides of aluminum, calcium and sodium. *Soil Sci. Amer. Proc.*, Vol. 36: 734-737.
- Mac Donald, L. H., A. W. Smart and R. C. Wissmar.** 1991. Monitoring guidelines to evaluate effects of forestry activities on streams in the Pacific Northwest and Alaska. EPA 910/9-91-001-CSS/EPA. Library of Congress Catalog Card Number 91-73312. Seattle Wa, USA.
- Machorro, R., M. Basterrechea and P. Goodell.** 1995. Heavy metal pollution assessment from sediments analysis at Lake Izabal, Guatemala. Second Interamerican Environmental Congress Proceedings. 30 y 31 de agosto y 1 de septiembre de 1995. ITESM-RICA. Monterrey N.L., México, pp:88-91.
- Maessen, O., B. Freedman and R. McCurdy.** 1985. Metal mobilization in home well water systems in Nova Scotia. *American Water Works Association Journal*, Vol. 77, No. 6, pp:73-80.
- Maher, W. A.** 1985. Arsenic in coastal waters of south Australia. *Water Research*, Vol. 19, No. 7, pp: 933-934. Pergamon Press. Great Britain.
- Maruyama, T., S. A. Hannah and J. M. Cohen.** 1975. Metal removal by physical and chemical treatment processes. *Journal Water Pollution Control Federation*, Vol. 47, No. 5, pp: 962-974.

- Michigan Department of Natural Resources (MDNR).** 1994. Water quality management practices on forest land. Printed by Authority of Michigan Department of Natural Resources. Lansing, Michigan, USA.
- Miller, R. G., F. C. Koppler, K. C. Kelty, J. A. Stober and N. S. Ulmer.**1984. The occurrence of aluminum in drinking water. *American Water Works Association Journal*, Vol. 76, No. 1, pp: 84-91. Denver, Co., USA.
- Nojiri, Y., T. Kawai, A. Otsuki and K. Fuwa.** 1985. Simultaneous multielement determination of trace metals in lake waters by ICP emission spectrometry with preconcentration and their background levels in Japan. *Water Research*, Vol. 19, No. 4, pp: 503-509. Pergamon Press. Great Britain.
- Nuñez E., R.** 1973. El uso de los fertilizantes y la contaminación del medio ambiente. *Memorias de la Reunión Nacional Sobre Problemas de Contaminación Ambiental*. México D. F., 14-19 ene. 1973. Secretaría de Salubridad y Asistencia, pp:1019-1025.
- Obregón, M. A.** 1987. Bioacumulación de Pb, Cu, y Fe en *Astyanax mexicanus*, *Notropis braytoni*, *Notropis jemezanus* y *Cichlasoma cyanoguttatus*, en el Río San Juan, provincia del Río Bravo, Noreste de México. Tesis inédita. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza N. L.
- Okay, O., H. Guglu, H. Soner and T. Balkas.** 1985. Boron pollution in Simav river, Turkey and various methods of boron removal. *Water Research*, Vol. 19, No. 7, pp:857-862. Pergamon Press. Great Britain.

- Panday, K. K., G. Prasad and V. N. Singh.** 1985. Cooper (II) removal from aqueous solutions by flash ash. *Water Research*, Vol. 19, No. 7, pp: 869-873. Pergamon Press. Great Britain.
- Parker, G. R., W. W. McFee and J. M. Kelly.** 1978. Metal distribution in forested ecosystems in urban and rural northwestern Indiana. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 7, No. 3, pp: 337-342.
- Ponce, V. G. y A. V. Botello.** 1991. Aspectos geoquímicos y de contaminación por metales pesados en la laguna de términos, Campeche. *Hidrobiológica*, Vol. 1, No. 2, pp: 1-10.
- Rickert, D.** 1993. Evaluación de la calidad del agua para determinar la naturaleza y grado de contaminación del agua por la agricultura y actividades conexas. En: *Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Anales de la consulta de expertos organizada por la FAO. Informes sobre temas hídricos No. 1. Oficina Regional de la FAO para América Latina y El caribe. Santiago de Chile. pp:187-210.*
- Rosas, I., A. Báez, R. Belmont y E. Gómez.** 1980. *Eichornia crassipes* como un indicador de la presencia de cadmio. *Revista Geofísica*, 1980, No. 12, pp: 43-54.
- Saar, R. A. and J. H. Weber.** 1980. Lead (II)-fulvic acid complexes. Conditional stability constants, solubility and implications for lead (II) mobility. *Environmental Science and Technology*, Vol. 14, No. 7, pp: 877-880.
- Salby, D. A., J. M. Ihnat and J. J. messer.** 1985. Effects of subacute cadmium exposure on a hardwater mountain stream microcosm. *Water Research*, Vol. 19, No. 5, pp: 645-655. Pergamon Press. Great Britain.

- Schmandt, J.** 1995. Water and development in the Rio grande/ Rio Bravo basin. Second Inter-American Environmental Congress Proceedings. 30 y 31 de agosto y 1 de septiembre de 1995. ITESM-RICA. Monterrey N. L., México. pp:122-125.
- Stawinski, T. M. y H. O. Monroy.** 1982. Metales tóxicos en lirio acuático. Memorias del Congreso sobre Problemas Ambientales de México. Instituto Politécnico Nacional. México D. F., pp: 52.
- Stolzenburg, T. R., R. R. Stanforth and D. G. Nichols.** 1986. Potential health effects of mercury in water supply cells. American Water Works Association Journal, Vol. 78, No. 1, pp: 45-48.
- Tebutt, T. H. Y.** 1994. Fundamentos de control de la calidad del agua. Editorial Limusa S. A. de C. V., Grupo Noriega Editores. Segunda Reimpresión. México D. F. p.239
- Toledo, A., A. V. Botello, M. Herzig, M. Páez, L. Bozada, F. Contreras, M. Cházaro y A. Báez.** 1989. La contaminación en la región del Río Coatzacoalcos. Ciencia y Desarrollo, Vol. XV, No. 86, pp:27-46.
- Turk, A.** 1988. Ecología, Contaminación, Medio Ambiente. Editorial Interamericana. México D. F.
- US-EPA.** 1993. Monitoring protocols to evaluate water quality effects of grazing management on western rangeland streams. United States Environmental Protection Agency, Water Division. Seattle, Wa.
- Villarreal, C. M.** 1983. Cambios en las comunidades de peces por factores físico-químicos, en el Río San Juan, provincia del Río Bravo, Noreste de México. Tesis inédita. U.A.N.L. San Nicolás de los Garza N. L.

- Villarreal, C. M., M. E. Obregón, J. F. Lozano y N. A. Villegas.** 1986. Bioaccumulation of lead, cooper, iron and zinc by fish in a transect of the Santa Catarina river in Cadereyta Jimenez , Nuevo Leon, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 37: 395-401. Springer-Verlag New York Inc.
- Vizcaíno, M. F.** 1987. *La Contaminación en México.* Fondo de Cultura Económica S. A. de C. V. México D. F.
- Vogel, E., M. A. Bernal, J. Návar and G. Alanís.** 1995. Study of the chemical analysis of contamination by metals of the Pesquería river. *Second Inter-American Environmental Congress Proceedings.* 30 y 31 de agosto y 1 de septiembre de 1995. ITESM-RICA. Monterrey N. L., México. pp: 131-134.
- Whitlow, S. Y. y D. L. Rice.** 1985. Silver complexation in rivers waters of central New York. *Water Research*, Vol. 19, No. 5, pp: 619-626. Pergamon Press. Great Britain.
- Winner, R. W.** 1985. Bioaccumulation and toxicity of cooper as affected by interactions between humic acid and water hardness. *Water Research*, Vol. 19, No. 4, pp: 449-455. Pergamon Press. Great Britain.

ANEXOS

ANEXO A

**Métodos de Laboratorio, Límites de Detección y Equipo Utilizados para la
Medición de los Parámetros Físicos, Químicos y Bacteriológicos.**

PARAMETRO	METODO	NORMA	LIMITE DE DETECCION	EQUIPO
Alcalinidad	Potenciométrico	NMX-AA-36-1980	1.0 mg/l	Analizador de Iones Commng 250
Cloruros	Argentométrico	NMX-AA-73-1981	1.5 mg/l	
Coliformes Totales	Técnica de Tubos Múltiples	NMX-AA-42-1987	2 CT/100 ml	
Coliformes Fecales	Técnica de Tubos Múltiples	NMX-AA-42-1987	2 CF/100 ml	
Color aparente	APHA. Método Estándar Platino-Cobalto	NMX-AA-45-1981	0-55 U Pt-CO	Espectrofotómetro Hach DR-200
Conductividad eléctrica	Electrométrico	NMX-AA93-1984	1 µmho/cm	Conductómetro YSI modelo 32
DBO ₅	Winkler, Modificación Azida de Sodio	NMX-AA-28-1981	2 mg/l	Incubadora para DBO Precision Scientific
DQO	Método de Reflujo abierto Método Titulométrico Reflujo Cerrado	NMX-AA-39-1981	5 mg/l	Vary Heat Reactor Hach
Detergentes	Colorimétrico	NMX-AA-39-1980	0.025 mg/l	Espectrofotómetro Coleman Jr II modelo 6/35
Durezas	Volumétrico con EDTA	NMX-AA-72-1981	1.0 mg/l	
Fósforo Total	Colorimétrico Cloruro Estanoso	NMX-AA-29-1980	0.003 mg/l	Espectrofotómetro Coleman Jr. II modelo 6/35
Grasas y Aceites	Extracción Soxhlet	NMX-AA-5-1980	1.0 mg/l	Balanza Analítica Chyo JL-200
Nitrógeno Amoniacal	Acidimétrico		0.06 mg/l	
Nitrogeno Orgánico	Macrokjeldhal		0.06 mg/l	
Nitritos	Colorimétrico NED	NMX-AA-99-1987	0.001 mg/l	Espectrofotómetro Coleman Jr. II modelo 6/35
Nitratos	Colorimétrico, Salicilato de Sodio	NMX-AA-82-1986		Espectrofotómetro Coleman Jr. II modelo 6/35
Oxígeno Disuelto	Método winkler Modificación Azida	NMX -AA-12-1980		
pH	MA-FQ-28	NMX-AA-8-1980	0.01	Analizador de Iones Commng 250
Sulfatos	Turbidimétrico	NMX-AA-74-1981	1.0 mg/l	Espectrofotómetro Coleman Jr. II modelo 6/35
Sólidos Sedimentables	Volumétrico	NMX-AA-4-1977	0.1 ml/l	Cono Imhof
Sólidos Totales	Gravimétrico		1.0 mg/l	Balanza Analítica Chyo- 200
Sólidos Totales Volátiles y Fijos	Gravimétrico		1.0 mg/l	Balanza Analítica Chyo- 200
Sólidos Suspendidos Totales	Gravimétrico		1.0 mg/l	Balanza Analítica Chyo- 200
Sólidos Suspendidos Volátiles y Fijos	Gravimétrico		1.0 mg/l	Balanza Analítica Chyo- 200
Sólidos Disueltos Totales	Gravimétrico	NMX-AA-20-1980	1.0 mg/l	Balanza analítica Chyo- 200
Sólidos Disueltos Volátiles y Fijos	Gravimétrico		1.0 mg/l	Balanza Analítica Chyo- 200
Turbiedad	Nefelométrico	NMX-AA-38-1981	1.0 UTN	Turbidimetro Cole Parmer modelo 8391-35

ANEXO B
LIMITES DE DETECCION DE METALES EN AGUA

METAL	LIMITE (mg/l)	METAL	LIMITE (mg/l)
Al	0.010	Fe	0.002
Sb	0.040	Li	0.002
As	0.001	Mg	0.001
Ba	0.001	Mn	0.001
Be	0.001	Hg	0.001
B	0.003	Mo	0.004
Cd	0.001	Ni	0.004
Ca	0.002	Ag	0.003
Co	0.002	Pb	0.001
Co	0.001	Se	0.003
Cr	0.003	Si	0.006
Sn	0.003	Zn	0.002

ANEXO C

**Normas Utilizadas con Fines de Comparación de los Datos de Metales Pesados; los Valores Representan los Límites Máximos Permitidos.
(datos en mg/l)**

PARAMETRO	NOM ¹	OMS ²	CEE ³	FA ⁴	UA ⁵	UP ⁶	PVA ⁷
Al	0.200	0.200	ND	0.020	5.000	5.000	0.050
Sb	ND*	ND	ND	0.100	0.100	ND	0.090
As	0.050	0.050	0.010	0.050	0.100	0.200	0.200
Ba	0.700	ND	0.100	1.000	ND	ND	0.010
Be	ND	ND	ND	0.00007	1.000	0.100	0.001
B	ND	ND	1.000	1.000	0.700	5.000	ND
Cd	0.005	0.005	0.001	0.010	0.010	0.020	II
Cu	2.000	1.000	0.020	1.000	0.200	0.500	III
Cr	0.050	0.050	0.050	0.050	1.000	1.000	0.010
Fe	0.300	0.300	0.100	0.300	5.000	ND	ND
Mn	0.150	0.100	0.050	0.100	ND	ND	ND
Hg	0.001	0.001	0.0005	0.001	ND	0.003	0.00001
Ni	ND	0.100	ND	0.010	0.200	1.00	IV
Ag	ND	ND	ND	0.050	ND	ND	ND
Pb	0.025	0.050	0.050	0.050	5.000	0.100	V
Se	ND	0.010	0.010	0.010	0.020	0.050	0.008
Zn	5.000	5.000	0.500	5.000	2.000	50.000	VI

*No disponible

¹ Norma Oficial Mexicana para Agua Potable

² Norma de la Organización Mundial de la Salud para Agua Potable

³ Norma de la Comunidad Económica Europea para Agua Potable

⁴ Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Fuente de Abastecimiento

⁵ Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Uso Agrícola

⁶ Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Uso Pecuario

⁷ Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Protección de la Vida Acuática

I. Para riego continuo de suelos, el agua contendrá como máximo 0.1 mg/l de berilio, excepto para el caso de suelos alcalinos y de textura fina donde se pueden aplicar concentraciones de hasta 0.5 mg/l.

II. La concentración promedio de cadmio de 4 días en ug/l no debe exceder más de una vez cada 3 años el valor numérico de la siguiente ecuación: $Cd (ug/l) = e(0.785(\ln(dureza)) - 3.49)$

III. La concentración promedio de cobre de 4 días en ug/l, no debe exceder más de una vez cada 3 años el valor numérico de la siguiente ecuación: $Cu (ug/l) = e(0.8545(\ln(dureza)) - 1.465)$

IV. La concentración promedio de níquel de 4 días en ug/l no debe exceder más de una vez cada 3 años el valor numérico de la siguiente ecuación: $Ni (ug/l) = e(0.8460(\ln(dureza)) + 1.1645)$

V. La concentración promedio de plomo de 4 días en ug/l no debe exceder más de una vez cada 3 años el valor numérico de la siguiente ecuación: $Pb (ug/l) = e(1.273(\ln(dureza)) - 4.105)$

VI. La concentración promedio de zinc de 4 días en ug/l no debe exceder más de una vez cada 3 años el valor numérico de la siguiente ecuación: $Zn (ug/l) = e(0.8473(\ln(dureza)) + 10.3604)$

ANEXO D

Normas Utilizadas con Fines de Comparación de los Datos de los Parámetros Físicos, Químicos y Bacteriológicos; los Valores Representan los Límites Máximos Permitidos. (Unidades en mg/l, salvo cuando se especifique otra unidad de medida).

PARAMETRO	NOM ¹	OMS ²	CEE ³	FA ⁴	UA ⁵	UP ⁶	PVA ⁷
Color ⁸	20.0	15.0	10.0	75.0	ND*	ND	I
Conductividad ⁹	ND	ND	ND	1000.0	ND	ND	ND
Sólidos Disueltos	1000.0	1000.0	ND	500.0	500 (II)	1000.0	ND
Sólidos Suspendidos	ND	ND	25.0	500.0	50.0	ND	III
Sólidos Totales	ND	ND	ND	1000.0	ND	ND	ND
Temperatura	ND	ND	ND	IV	ND	ND	V
Turbiedad ¹⁰	5.0	5.0	ND	ND	ND	ND	VI
Alcalinidad	ND	ND	ND	400.0	ND	ND	VII
Cloruros	250.0	ND	200.0	250.0	147.5	ND	250.0
DBO	ND	ND	< 3.0	ND	ND	ND	ND
DQO	ND	ND	30.0	ND	ND	ND	ND
Detergentes	0.5	ND	0.2	0.5	ND	ND	0.1
Grasas y Aceites	ND	ND	ND	Ausente	ND	ND	ND
Fósforo Total	ND	ND	0.4	0.1	ND	ND	VIII
Dureza Total	500.0	500.0	ND	ND	ND	ND	ND
Nitratos	10.0	10.0	25.0	5.0	ND	90.0	ND
Nitritos	0.05	1.0	ND	0.05	ND	10.0	ND
Nitrógeno Amoniacal	0.5	ND	0.05	ND	ND	ND	0.06
Oxígeno Disuelto ¹¹	ND	ND	ND	4.0	ND	ND	5.0
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	5-9	4.5-9	ND	IX
Sulfatos	400.0	ND	150.0	500.0	130.0	ND	0.005
Coliformes Fecales ¹²	0.0	0.0	20.0	1000.0	100.0	ND	200.0
Coliformes Totales	2.0	0	50.0	ND	ND	ND	ND

¹ Norma Oficial Mexicana para Agua Potable

* No Disponible

² Norma de la Organización Mundial de la Salud para Agua Potable

³ Norma de la Comunidad Económica Europea para Agua Potable

⁴ Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Fuente de Abastecimiento

⁵ Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Uso Agrícola

⁶ Criterios Ecológicos de Calidad del Agua par Uso Pecuario

⁷ Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Protección de la Vida Acuática

⁸ Unidades Platino-Cobalto (Pt-Co)

⁹ Unidades en micromhos/cm

¹⁰ Unidades de Turbiedad Nefelométricas (UTN)

¹¹ Para oxígeno disuelto los niveles deben considerarse como mínimos.

¹² Unidades en: Número Más Probable por cada 100 ml. (NMP/100ml)

I. Los sólidos suspendidos (incluyendo los sedimentables) en combinación con el color, no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz para la actividad fotosintética en más de 10% a partir del valor natural.

II. La concentración de sólidos disueltos que no tienen efectos nocivos en ningún cultivo es de 500 mg/l, en cultivos sensibles es de 500 y 1000 mg/l, en muchas cosechas que requieren manejo especial es de entre 1000 y 2000 mg/l y para cultivos de plantas tolerantes en suelos permeables es de entre 2000 y 5000 mg/l requiriendo de un manejo especial.

III. Igual que I

IV. Condiciones Naturales+2.5 °C

V. Condiciones Naturales+1.5 °C

VI. Igual que I

VII. La alcalinidad natural del cuerpo de agua no debe ser reducida en más del 25%, cuando esta sea menor o igual a 20 mg/l no deberán admitirse reducciones inducidas.

VIII. Los fosfatos totales, medidos como fósforo, no deberán exceder de 0.05 mg/l en influentes a lagos o embalses ni de 0.025 mg/l dentro del lago o embalse, para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y para controlar la eutroficación acelerada.

IX. Para el potencial de hidrogeno (pH), los niveles establecidos deben considerarse como mínimos y máximos. No podrá haber variaciones mayores a 0.2 unidades de pH, tomando como base el valor natural estacional.

ANEXO E
Concentración de resultados de los parámetros medidos con n=80

Al	Sb	As	Ba	B	Cd	Ca	Co	Cu	Cr	Sn
2,182	0,040	0,007	0,095	0,416	0,002	130,600	0,002	0,001	0,020	0,082
0,179	0,051	0,001	0,081	0,317	0,007	117,300	0,003	0,013	0,029	0,058
0,143	0,040	0,010	0,090	0,281	0,006	202,300	0,003	0,011	0,036	0,048
0,134	0,040	0,007	0,087	0,272	0,006	120,000	0,003	0,016	0,024	0,051
0,082	0,040	0,010	0,102	0,279	0,007	150,500	0,002	0,009	0,024	0,067
0,078	0,040	0,006	0,090	0,265	0,006	173,570	0,002	0,007	0,025	0,036
0,083	0,040	11,100	0,090	0,241	0,005	160,000	0,002	0,003	0,025	0,043
0,113	0,051	0,006	0,063	0,258	0,001	128,400	0,002	0,001	0,025	0,057
0,083	0,040	0,008	0,089	0,261	0,007	122,000	0,003	0,006	0,028	0,047
1,608	0,102	0,011	0,095	0,236	0,004	11,090	0,010	0,010	0,015	0,047
0,160	0,040	0,001	0,065	0,245	0,003	77,660	0,002	0,016	0,020	0,040
0,793	0,040	0,001	0,111	0,399	0,007	790,516	0,002	0,007	0,021	0,064
0,157	0,040	0,002	0,066	0,228	0,005	240,600	0,002	0,008	0,056	0,038
0,109	0,040	0,004	0,055	0,215	0,005	74,070	0,002	0,008	0,012	0,036
0,075	0,040	0,004	0,066	0,187	0,005	162,720	0,002	0,007	0,018	0,049
0,123	0,040	0,002	0,068	0,209	0,005	175,000	0,002	0,008	0,032	0,030
0,154	0,040	0,001	0,076	0,180	0,004	153,500	0,002	0,005	0,018	0,037
0,167	0,043	0,003	0,040	0,255	0,001	67,930	0,002	0,001	0,018	0,050
0,168	0,040	0,005	0,083	0,329	0,007	73,280	0,003	0,006	0,021	0,048
3,905	0,070	0,004	0,073	0,149	0,003	7,737	0,007	0,020	0,007	0,037
0,627	0,040	0,001	0,063	0,157	0,002	108,200	0,002	0,001	0,014	0,043
1,085	0,040	0,001	0,091	0,244	0,009	800,000	0,002	0,012	0,030	0,071
0,561	0,040	0,001	0,058	0,137	0,005	250,700	0,002	0,008	0,034	0,040
0,247	0,040	0,001	0,061	0,151	0,005	114,600	0,002	0,007	0,018	0,037
0,279	0,041	0,001	0,072	0,152	0,007	170,800	0,003	0,009	0,021	0,061
0,310	0,040	0,001	0,071	0,168	0,005	190,000	0,002	0,005	0,018	0,032
0,207	0,040	2,760	0,101	0,166	0,005	142,000	0,002	0,006	0,020	0,040
0,220	0,058	0,001	0,074	0,177	0,001	124,700	0,002	0,001	0,025	0,059
0,339	0,041	0,005	0,088	0,322	0,008	68,750	0,003	0,005	0,021	0,053
2,498	0,113	0,004	0,122	0,304	0,005	11,072	0,011	0,017	0,012	0,057
0,652	0,040	0,001	0,063	0,147	0,002	113,300	0,002	0,001	0,013	0,036
0,345	0,040	0,001	0,061	0,180	0,006	107,800	0,002	0,041	0,025	0,055
0,624	0,040	0,002	0,066	0,199	0,006	270,000	0,003	0,009	0,049	0,046
0,242	0,040	0,003	0,059	0,582	0,005	117,600	0,002	0,010	0,016	0,041
0,181	0,040	0,001	0,073	0,228	0,008	170,000	0,003	0,011	0,033	0,073
0,278	0,040	0,001	0,072	0,283	0,007	173,570	0,002	0,004	0,018	0,044
0,492	0,050	2,590	0,077	0,243	0,008	173,000	0,002	0,005	0,023	0,061
0,518	0,066	0,005	0,056	0,299	0,001	124,600	0,002	0,001	0,027	0,075
0,663	0,056	0,003	0,093	0,357	0,010	95,760	0,005	0,007	0,026	0,067
3,276	0,122	0,005	0,122	0,285	0,006	11,100	0,012	0,013	0,015	0,059
0,114	0,040	0,001	0,040	0,043	0,001	77,260	0,002	0,001	0,009	0,030
0,307	0,040	0,001	0,042	0,065	0,005	73,540	0,002	0,023	0,020	0,034
0,185	0,040	0,001	0,044	0,086	0,004	280,000	0,002	0,007	0,034	0,030
0,140	0,040	0,004	0,044	0,114	0,004	81,230	0,002	0,008	0,018	0,028
0,141	0,040	0,001	0,058	0,106	0,005	172,310	0,002	0,008	0,015	0,050
0,123	0,040	0,001	0,058	0,144	0,004	180,000	0,002	0,002	0,012	0,030
0,128	0,040	1,570	0,056	0,161	0,003	140,700	0,002	0,001	0,017	0,033
0,150	0,055	0,002	0,029	0,173	0,001	80,250	0,002	0,001	0,021	0,053
0,407	0,030	0,002	0,060	0,233	0,007	59,230	0,002	0,003	0,017	0,047

ANEXO E
Concentración de resultados de los parámetros medidos con n=80

1,328	0,101	0,001	0,058	0,191	0,005	8,557	0,008	0,012	0,011	0,050
0,175	0,040	0,001	0,046	0,060	0,001	79,690	0,002	0,001	0,008	0,030
0,255	0,042	0,001	0,045	0,084	0,005	74,660	0,004	0,015	0,021	0,036
0,123	0,040	0,001	0,048	0,121	0,004	230,000	0,003	0,007	0,032	0,032
0,135	0,040	0,005	0,045	0,196	0,004	72,260	0,002	0,007	0,014	0,030
0,106	0,040	0,001	0,181	0,162	0,005	191,700	0,002	0,005	0,015	0,047
0,203	0,040	0,001	0,059	0,247	0,005	177,500	0,002	0,003	0,012	0,030
0,126	0,040	0,001	0,053	0,182	0,003	170,000	0,002	0,002	0,016	0,031
0,209	0,052	0,003	0,024	0,252	0,001	73,170	0,002	0,001	0,021	0,046
0,202	0,030	0,001	0,075	0,138	0,005	96,730	0,002	0,006	0,021	0,036
1,353	0,084	0,004	0,063	0,288	0,004	3,240	0,008	0,010	0,009	0,042
0,342	0,040	0,001	0,053	0,095	0,002	87,550	0,002	0,011	0,020	0,033
0,569	0,045	0,001	0,044	0,097	0,005	70,380	0,003	0,020	0,021	0,046
0,311	0,040	0,001	0,044	0,127	0,005	220,000	0,003	0,007	0,026	0,034
0,128	0,040	0,003	0,037	0,148	0,005	72,210	0,002	0,006	0,013	0,031
0,372	0,040	0,001	0,062	0,182	0,006	132,700	0,001	0,006	0,015	0,058
0,491	0,040	0,001	0,061	0,230	0,006	187,500	0,002	0,004	0,017	0,035
0,394	0,040	2,900	0,058	0,186	0,006	169,000	0,002	0,006	0,021	0,047
0,213	0,040	0,003	0,006	0,149	0,001	87,530	0,002	0,001	0,004	0,038
0,847	0,037	0,001	0,059	0,234	0,006	78,650	0,002	0,007	0,021	0,045
2,700	0,105	0,005	0,077	0,277	0,005	8,951	0,012	0,026	0,012	0,055
0,422	0,040	0,001	0,048	0,106	0,002	95,460	0,002	0,001	0,012	0,030
0,380	0,045	0,001	0,042	0,125	0,007	81,110	0,003	0,013	0,022	0,051
0,278	0,040	0,001	0,043	0,177	0,006	250,300	0,003	0,008	0,021	0,078
0,131	0,040	0,001	0,036	0,171	0,005	84,400	0,002	0,006	0,018	0,039
0,200	0,040	0,002	0,065	0,307	0,010	150,000	0,003	0,010	0,032	0,097
0,154	0,040	0,001	0,069	0,344	0,010	182,500	0,002	0,004	0,022	0,057
0,273	0,059	0,001	0,069	0,309	0,009	180,000	0,003	0,005	0,025	0,068
0,272	0,054	0,002	0,054	0,304	0,001	142,200	0,002	0,001	0,026	0,079
0,615	0,059	0,001	0,070	0,366	0,011	115,200	0,004	0,009	0,028	0,071
2,182	0,149	0,002	0,080	0,304	0,006	11,080	0,014	0,015	0,016	0,075

ANEXO E
Concentración de resultados de los parámetros medidos con n=80

Fe	Li	Mg	Mn	Mo	Ni	Ag	Pb	Si	Zn
0,239	0,009	21,280	0,013	0,010	0,013	0,003	0,001	8,104	0,033
0,117	0,020	19,450	0,009	0,010	0,016	0,054	0,002	7,730	0,027
0,086	0,015	21,500	0,011	0,010	0,019	0,005	0,001	8,334	0,817
0,114	0,014	19,875	0,005	0,009	0,014	0,006	0,004	6,915	0,052
0,049	0,016	22,580	0,005	0,007	0,015	0,003	0,002	8,481	0,018
0,033	0,014	21,340	0,003	0,006	0,011	0,003	0,004	8,180	0,006
0,251	0,015	21,220	0,002	0,008	0,014	0,003	0,001	8,240	0,016
0,060	0,017	21,230	0,001	0,011	0,015	0,003	0,003	8,455	0,002
0,036	0,011	21,790	0,006	0,009	0,019	0,004	0,001	8,887	0,011
0,616	0,038	20,470	0,007	0,045	0,017	0,009	0,002	7,870	0,020
0,216	0,015	15,290	0,030	0,010	0,020	0,003	0,002	6,596	0,037
0,594	0,019	26,060	0,036	0,011	0,012	0,014	0,007	12,300	0,025
0,229	0,013	16,540	0,018	0,014	0,031	0,003	0,002	4,950	0,219
0,077	0,012	14,890	0,008	0,009	0,009	0,004	0,001	1,055	0,018
0,061	0,015	16,590	0,019	0,008	0,015	0,003	0,001	1,718	0,007
0,177	0,013	16,470	0,018	0,006	0,018	0,004	0,012	1,740	0,018
0,196	0,018	17,680	0,163	0,010	0,015	0,003	0,002	1,705	0,010
0,245	0,017	18,220	0,048	0,014	0,016	0,003	0,003	2,890	0,002
0,550	0,014	21,485	0,230	0,022	0,022	0,005	0,004	7,745	0,018
2,725	0,027	8,910	0,089	0,032	0,015	0,008	0,021	9,310	0,063
0,448	0,014	16,200	0,022	0,004	0,010	0,003	0,007	9,310	0,018
0,595	0,031	25,700	0,028	0,013	0,018	0,017	0,002	13,190	0,028
0,406	0,023	16,190	0,034	0,009	0,018	0,006	0,003	9,471	0,023
0,187	0,022	15,370	0,043	0,008	0,009	0,008	0,001	7,475	0,016
0,236	0,027	19,080	0,075	0,008	0,015	0,008	0,002	8,140	0,008
0,296	0,025	18,490	0,025	0,005	0,010	0,003	0,013	8,582	0,005
0,192	0,025	20,280	0,090	0,010	0,014	0,003	0,004	3,880	0,020
0,229	0,024	21,000	0,026	0,014	0,018	0,003	0,002	9,196	0,002
0,606	0,014	25,675	0,947	0,016	0,025	0,005	0,005	2,735	0,013
0,750	0,037	23,980	0,144	0,049	0,017	0,012	0,004	8,392	0,020
0,531	0,016	16,840	0,037	0,004	0,007	0,003	0,003	10,220	0,026
0,223	0,023	17,750	0,023	0,009	0,015	0,019	0,003	8,668	0,022
0,529	0,023	19,980	0,111	0,014	0,024	0,006	0,005	8,446	0,031
0,171	0,026	18,750	0,031	0,010	0,010	0,005	0,001	7,808	0,043
0,181	0,032	25,210	0,053	0,011	0,023	0,006	0,002	8,127	0,018
0,302	0,035	28,020	0,029	0,007	0,013	0,003	0,019	9,600	0,006
0,530	0,043	34,970	0,084	0,014	0,022	0,003	0,004	2,296	0,019
0,760	0,037	29,370	0,506	0,014	0,023	0,003	0,009	13,450	0,002
0,792	0,030	32,225	0,122	0,017	0,026	0,007	0,008	9,910	0,013
1,859	0,052	24,400	0,125	0,059	0,021	0,008	0,011	13,040	0,031
0,229	0,004	8,320	0,020	0,004	0,003	0,003	0,001	6,589	0,014
0,170	0,015	9,525	0,018	0,008	0,010	0,020	0,003	6,014	0,040
0,160	0,015	11,010	0,013	0,008	0,016	0,006	0,002	5,358	0,007
0,125	0,016	11,810	0,036	0,007	0,009	0,006	0,001	3,509	0,022
0,136	0,021	14,890	0,035	0,006	0,009	0,004	0,001	6,802	0,009
0,176	0,018	15,660	0,021	0,002	0,006	0,017	0,097	7,307	0,003
0,135	0,022	16,010	0,036	0,007	0,012	0,003	0,001	8,176	0,005
0,156	0,026	17,750	0,008	0,012	0,015	0,003	0,002	10,020	0,002
0,914	0,025	20,635	0,144	0,010	0,017	0,003	0,006	15,722	0,012

ANEXO E
Concentración de resultados de los parámetros medidos con n=80

0,304	0,050	19,390	0,020	0,045	0,015	0,010	0,003	9,441	0,010
0,258	0,002	9,420	0,015	0,004	0,003	0,003	0,001	6,810	0,019
0,147	0,016	10,650	0,009	0,010	0,011	0,011	0,001	6,290	0,017
0,113	0,016	12,490	0,009	0,008	0,017	0,006	0,001	5,723	0,009
0,093	0,016	12,750	0,048	0,008	0,008	0,004	0,001	2,264	0,038
0,100	0,021	15,200	0,029	0,006	0,011	0,003	0,001	3,502	0,004
0,162	0,019	16,215	0,026	0,003	0,007	0,003	0,006	6,382	0,003
0,259	0,016	13,890	0,267	0,007	0,010	0,003	0,012	7,733	0,003
0,458	0,017	13,800	0,307	0,011	0,015	0,003	0,001	11,630	0,002
0,490	0,011	14,147	0,116	0,007	0,015	0,006	0,002	9,147	0,013
0,454	0,042	16,890	0,059	0,042	0,013	0,008	0,004	6,088	0,012
0,276	0,016	13,640	0,032	0,004	0,011	0,003	0,002	8,500	0,019
0,427	0,019	12,210	0,030	0,010	0,030	0,032	0,001	7,148	0,036
0,253	0,018	14,080	0,019	0,008	0,015	0,005	0,002	6,485	0,049
0,086	0,019	14,580	0,074	0,007	0,008	0,004	0,001	3,682	0,019
0,371	0,029	19,030	0,022	0,007	0,011	0,003	0,001	5,274	0,005
0,503	0,034	21,955	0,026	0,006	0,011	0,003	0,008	6,525	0,004
0,358	0,042	24,320	0,113	0,013	0,016	0,003	0,002	2,557	0,025
0,274	0,024	15,050	0,017	0,004	0,005	0,003	0,002	8,700	0,002
0,886	0,026	19,585	0,050	0,012	0,018	0,008	0,002	11,632	0,010
1,062	0,062	26,170	0,112	0,054	0,021	0,012	0,005	12,800	0,026
0,598	0,009	17,080	0,036	0,004	0,006	0,003	0,002	7,880	0,049
0,248	0,024	16,960	0,014	0,011	0,014	0,028	0,001	6,947	0,014
0,190	0,024	18,980	0,011	0,009	0,014	0,006	0,002	6,309	0,010
0,083	0,025	18,840	0,006	0,009	0,012	0,008	0,001	3,748	0,011
0,193	0,047	35,100	0,051	0,011	0,027	0,059	0,001	5,556	0,013
0,181	0,051	40,573	0,021	0,006	0,018	0,003	0,004	5,040	0,002
0,304	0,457	38,070	0,064	0,012	0,022	0,003	0,001	5,807	0,006
0,271	0,039	34,990	0,026	0,013	0,021	0,003	0,001	8,093	0,002
0,519	0,027	34,525	0,069	0,013	0,030	0,007	0,001	10,822	0,015
0,321	0,052	37,920	0,073	0,066	0,021	0,013	0,001	7,100	0,013

ANEXO E
Concentración de resultados de los parámetros medidos con n=80

Alc	Clo	Col	Cond	DBO	DQO	DT	Fosf	GA	Nit	NAm
194,000	50,000	0,000	954,000	2,000	4,000	430,000	0,176	0,930	0,014	0,060
270,000	51,000	23,000	970,000	4,000	13,000	445,000	0,169	3,000	0,016	0,060
300,000	36,000	5,000	963,000	2,000	9,000	445,000	0,130	5,000	0,003	0,059
279,000	48,000	14,000	945,000	2,000	5,000	505,000	0,047	3,000	0,024	0,059
273,000	52,000	7,000	970,000	2,000	5,000	465,000	0,039	0,150	0,026	0,059
274,000	47,000	14,000	724,000	2,000	6,000	435,000	0,037	0,000	0,017	0,059
301,000	51,000	8,000	940,000	2,000	5,000	495,000	0,047	6,000	0,015	0,059
301,000	48,000	17,000	908,000	2,000	9,000	421,000	0,140	3,000	0,122	0,059
290,000	51,000	0,000	970,000	2,000	12,000	449,000	0,096	1,000	0,034	0,110
277,000	51,000	22,000	934,000	2,000	5,000	465,000	0,027	1,000	0,012	0,060
111,000	48,000	5,000	648,000	2,000	10,000	260,000	0,068	0,730	0,022	0,060
140,000	53,000	51,000	755,000	3,000	6,000	295,000	0,154	3,000	0,012	0,060
172,000	55,000	26,000	751,000	2,000	6,000	296,000	0,075	7,000	0,022	0,060
129,000	51,000	24,000	694,000	4,000	8,000	282,000	0,047	4,000	0,047	0,059
145,000	61,000	22,000	736,000	2,000	5,000	318,000	0,061	0,160	0,004	0,060
138,000	54,000	17,000	554,000	4,000	9,000	275,000	0,108	0,000	0,001	0,059
131,000	65,000	74,000	734,000	7,000	14,000	282,000	0,108	6,000	0,006	0,059
105,000	73,000	10,000	784,000	6,000	31,000	272,000	0,184	1,000	0,012	0,710
65,000	87,000	258,000	867,000	10,000	61,000	289,000	0,217	1,000	0,012	0,940
131,000	37,000	159,000	512,000	6,000	44,000	235,000	0,413	3,000	0,062	0,220
233,000	58,000	42,000	910,000	2,000	10,000	370,000	0,114	0,910	0,008	0,059
240,000	70,000	51,000	1020,000	4,000	12,000	420,000	0,236	3,000	0,005	0,059
266,000	61,000	63,000	930,000	2,000	9,000	395,000	0,075	7,000	0,008	0,060
265,000	56,000	55,000	909,000	4,000	8,000	400,000	0,216	4,000	0,016	0,290
275,000	69,000	46,000	992,000	7,000	14,000	434,000	0,062	0,000	0,023	0,059
234,000	67,000	20,000	728,000	5,000	10,000	390,000	0,037	0,000	0,014	0,059
187,000	74,000	25,000	987,000	2,000	5,000	416,000	0,057	10,000	0,012	0,280
244,000	72,000	10,000	1020,000	2,000	20,000	431,000	0,067	2,000	0,089	0,270
107,000	85,000	166,000	877,000	12,000	51,000	289,000	0,183	1,000	0,008	0,550
232,000	74,000	158,000	1106,000	4,000	38,000	475,000	0,128	0,000	0,005	0,060
228,000	58,000	44,000	916,000	2,000	14,000	380,000	0,131	2,000	0,013	0,059
235,000	67,000	95,000	990,000	3,000	6,000	415,000	0,213	3,000	0,005	0,059
260,000	70,000	83,000	979,000	2,000	6,000	400,000	0,310	9,000	0,018	0,060
259,000	63,000	42,000	1004,000	3,000	5,000	444,000	0,118	2,000	0,021	0,059
241,000	80,000	36,000	1055,000	6,000	13,000	475,000	0,028	0,000	0,042	0,059
233,000	80,000	40,000	810,000	4,000	9,000	420,000	0,003	0,000	0,043	0,059
92,000	102,000	129,000	1148,000	12,000	21,000	441,000	0,089	6,000	0,034	0,059
246,000	106,000	117,000	1244,000	3,000	15,000	475,000	0,306	2,000	0,010	0,430
170,000	121,000	144,000	1202,000	7,000	16,000	419,000	0,128	1,000	0,012	0,390
217,000	75,000	456,000	1010,000	11,000	41,000	405,000	0,229	2,000	0,005	0,060
199,000	19,000	20,000	533,000	2,000	4,000	230,000	0,030	1,000	0,006	0,059
198,000	25,000	36,000	605,000	2,000	4,000	265,000	0,148	3,000	0,007	0,059
236,000	34,000	34,000	623,000	2,000	6,000	276,000	0,054	10,000	0,005	0,059
189,000	34,000	23,000	627,000	2,000	5,000	337,000	0,045	2,000	0,010	0,059
187,000	42,000	63,000	676,000	2,000	5,000	333,000	0,056	0,000	0,008	0,059
190,000	43,000	33,000	538,000	6,000	8,000	285,000	0,037	0,000	0,009	0,059
189,000	50,000	27,000	726,000	3,000	5,000	297,000	0,037	3,000	0,012	0,059
184,000	54,000	23,000	792,000	2,000	10,000	297,000	0,062	0,690	0,022	0,760
118,000	72,000	106,000	796,000	6,000	64,000	269,000	0,117	3,000	0,012	0,060

ANEXO E
Concentración de resultados de los parámetros medidos con n=80

178,000	59,000	54,000	810,000	2,000	12,000	335,000	0,027	0,000	0,005	0,110
195,000	25,000	20,000	580,000	2,000	10,000	270,000	0,087	1,000	0,008	0,060
197,000	36,000	27,000	650,000	2,000	5,000	300,000	0,087	1,000	0,004	0,059
240,000	39,000	14,000	679,000	2,000	7,000	288,000	0,047	7,000	0,019	0,059
173,000	42,000	14,000	664,000	3,000	7,000	265,000	0,057	2,000	0,002	0,060
147,000	49,000	18,000	664,000	2,000	5,000	288,000	0,022	0,000	0,001	0,059
149,000	59,000	25,000	614,000	6,000	14,000	250,000	0,003	0,330	0,001	0,059
193,000	56,000	35,000	758,000	4,000	6,000	292,000	0,067	6,000	0,006	0,220
177,000	65,000	44,000	818,000	2,000	17,000	287,000	0,190	1,000	0,010	0,540
236,000	50,000	37,000	813,000	2,000	5,000	349,000	0,138	3,000	0,017	0,550
146,000	85,000	129,000	882,000	4,000	33,000	270,000	0,066	0,000	0,005	0,059
164,000	40,000	43,000	623,000	2,000	10,000	270,000	0,284	1,000	0,006	0,059
179,000	51,000	61,000	701,000	2,000	5,000	290,000	0,089	2,000	0,001	0,059
184,000	61,000	40,000	760,000	2,000	5,000	292,000	0,043	10,000	0,001	0,059
149,000	67,000	25,000	747,000	2,000	5,000	289,000	0,043	2,000	0,001	0,059
159,000	86,000	54,000	875,000	5,000	11,000	338,000	0,055	0,000	0,001	0,059
184,000	91,000	71,000	755,000	2,000	5,000	341,000	0,098	0,670	0,011	0,059
167,000	101,000	83,000	1009,000	3,000	9,000	351,000	0,103	5,000	0,007	0,060
150,000	102,000	93,000	1034,000	2,000	7,000	351,000	0,098	1,000	0,014	0,380
136,000	98,000	132,000	952,000	2,000	15,000	329,000	0,117	5,000	0,071	0,720
168,000	106,000	263,000	991,000	5,000	23,000	340,000	0,076	1,000	0,005	0,059
175,000	41,000	44,000	788,000	2,000	12,000	330,000	0,207	1,000	0,004	0,060
170,000	54,000	57,000	837,000	4,000	8,000	330,000	0,123	3,000	0,001	0,059
192,000	67,000	63,000	874,000	2,000	7,000	335,000	0,029	7,000	0,004	0,059
161,000	75,000	19,000	909,000	2,000	5,000	345,000	0,070	0,300	0,001	0,059
179,000	114,000	29,000	1344,000	2,000	5,000	586,000	0,003	0,290	0,007	0,059
186,000	123,000	49,000	1175,000	3,000	5,000	560,000	0,037	2,000	0,001	0,059
165,000	126,000	81,000	1496,000	2,000	10,000	559,000	0,184	6,000	0,007	0,059
150,000	121,000	37,000	1700,000	2,000	5,000	550,000	0,129	1,000	0,010	0,270
160,000	121,000	68,000	1453,000	2,000	5,000	489,000	0,056	2,000	0,008	0,720
112,000	105,000	95,000	1577,000	4,000	20,000	635,000	0,066	0,000	0,034	0,110

ANEXO E
Concentración de resultados de los parámetros medidos con n=80

OD	pH	SDT	SST	ST	Sulf	Tag	Tur	Q
6,900	7,600	953,000	2,000	955,000	158,000	26,000	0,000	1152,000
8,300	7,450	969,000	1,000	970,000	156,000	25,000	3,000	963,000
6,870	7,950	961,000	4,000	965,000	148,000	24,000	32,000	875,000
8,610	7,370	668,000	5,000	673,000	154,000	12,000	0,000	1017,000
6,770	7,490	699,000	4,000	703,000	157,000	20,000	0,000	927,000
10,870	8,080	677,000	3,000	680,000	189,000	22,000	1,000	360,000
6,110	7,840	687,000	1,000	688,000	177,000	22,000	1,000	714,000
6,720	7,780	700,000	10,000	710,000	100,000	25,000	2,000	168,000
7,540	7,690	692,000	8,000	700,000	181,000	25,000	0,000	608,000
10,170	7,350	666,000	4,000	670,000	153,000	29,000	1,000	480,000
7,510	7,640	647,000	3,000	650,000	144,000	26,000	4,000	579,000
8,720	7,700	749,000	21,000	770,000	158,000	23,000	9,000	484,000
6,870	7,630	750,000	29,000	779,000	138,000	21,000	5,000	440,000
8,610	7,580	470,000	5,000	475,000	157,000	10,000	4,000	511,000
8,000	7,600	524,000	4,000	528,000	156,000	20,000	4,000	466,000
9,230	8,570	483,000	10,000	493,000	177,000	19,000	2,000	181,000
8,350	7,780	512,000	13,000	525,000	157,000	21,000	14,000	11,000
6,310	7,800	553,000	22,000	575,000	195,000	30,000	17,000	0,000
7,330	7,330	637,000	76,000	713,000	312,000	30,000	56,000	0,000
4,270	7,110	350,000	133,000	483,000	137,000	30,000	133,000	0,000
8,520	7,760	908,000	12,000	920,000	178,000	27,000	5,000	255,000
9,130	7,710	1016,000	9,000	1025,000	211,000	25,000	9,000	317,000
7,080	7,310	926,000	19,000	945,000	175,000	22,000	14,000	288,000
8,820	7,740	624,000	20,000	644,000	171,000	14,000	9,000	334,000
8,200	7,620	714,000	16,000	730,000	208,000	24,000	9,000	305,000
15,790	8,040	669,000	14,000	683,000	227,000	23,000	5,000	39,000
9,780	7,520	728,000	12,000	740,000	241,000	26,000	6,000	0,000
25,460	8,010	738,000	17,000	755,000	211,000	31,000	1,000	0,000
12,420	7,940	599,000	154,000	753,000	276,000	30,000	43,000	0,000
10,780	7,630	806,000	34,000	840,000	332,000	33,000	29,000	0,000
8,320	7,700	911,000	9,000	920,000	175,000	27,000	6,000	424,000
10,790	7,640	986,000	14,000	1000,000	196,000	25,000	15,000	425,000
7,080	7,530	975,000	25,000	1000,000	199,000	23,000	17,000	387,000
9,640	7,490	701,000	17,000	718,000	192,000	13,000	7,000	448,000
10,050	7,600	770,000	10,000	780,000	224,000	24,000	8,000	408,000
13,740	8,250	665,000	10,000	675,000	292,000	22,000	7,000	20,000
12,630	7,710	842,000	31,000	873,000	308,000	23,000	24,000	0,000
4,480	8,030	902,000	58,000	960,000	262,000	31,000	11,000	0,000
6,520	8,060	856,000	102,000	958,000	362,000	30,000	39,000	0,000
11,190	7,630	715,000	100,000	815,000	299,000	33,000	87,000	0,000
10,150	7,780	528,000	7,000	535,000	63,000	26,000	2,000	3118,000
9,550	7,760	602,000	3,000	605,000	75,000	25,000	5,000	2255,000
8,960	7,670	617,000	8,000	625,000	90,000	22,000	6,000	1631,000
11,480	7,730	411,000	10,000	421,000	108,000	13,000	3,000	1174,000
10,050	7,730	470,000	8,000	478,000	103,000	25,000	6,000	845,000
12,710	8,000	495,000	5,000	500,000	189,000	22,000	6,000	390,000
11,200	7,620	521,000	7,000	528,000	154,000	21,000	7,000	481,000
10,590	8,060	550,000	5,000	555,000	174,000	31,000	3,000	172,000
6,720	8,060	572,000	56,000	628,000	231,000	31,000	20,000	0,000

ANEXO E
Concentración de resultados de los parámetros medidos con n=80

13,220	7,540	583,000	10,000	593,000	185,000	35,000	9,000	0,000
9,540	7,800	580,000	5,000	585,000	80,000	27,000	3,000	4565,000
11,000	7,910	649,000	1,000	650,000	95,000	27,000	4,000	3314,000
8,750	7,800	677,000	3,000	680,000	105,000	23,000	3,000	1302,000
11,070	7,930	435,000	10,000	445,000	116,000	14,000	3,000	1396,000
9,020	8,030	473,000	7,000	480,000	133,000	25,000	4,000	154,000
8,000	8,120	544,000	6,000	550,000	194,000	23,000	4,000	39,000
9,370	7,880	537,000	8,000	545,000	142,000	26,000	7,000	0,000
9,370	8,270	529,000	11,000	540,000	162,000	33,000	10,000	0,000
4,480	7,570	583,000	17,000	600,000	157,000	30,000	5,000	0,000
8,340	8,030	617,000	18,000	635,000	207,000	34,000	25,000	0,000
8,120	7,830	620,000	5,000	625,000	103,000	27,000	6,000	3077,000
12,040	7,970	697,000	8,000	705,000	118,000	28,000	9,000	2110,000
8,540	7,730	754,000	11,000	765,000	132,000	24,000	10,000	1447,000
9,430	7,710	488,000	10,000	498,000	147,000	12,000	3,000	998,000
8,200	7,860	615,000	20,000	635,000	176,000	26,000	11,000	689,000
9,840	8,340	670,000	28,000	698,000	221,000	21,000	11,000	119,000
9,780	7,870	716,000	17,000	733,000	262,000	29,000	17,000	48,000
12,020	8,230	743,000	20,000	763,000	269,000	33,000	17,000	29,000
7,130	8,200	671,000	64,000	735,000	259,000	35,000	26,000	34,000
10,170	8,090	703,000	42,000	745,000	263,000	35,000	53,000	0,000
7,510	7,780	781,000	14,000	795,000	230,000	27,000	9,000	6606,000
10,580	8,110	833,000	7,000	840,000	182,000	26,000	8,000	3190,000
11,460	7,980	870,000	20,000	890,000	187,000	24,000	13,000	1854,000
9,020	7,960	621,000	10,000	631,000	286,000	14,000	3,000	1285,000
8,200	7,900	995,000	8,000	1003,000	374,000	27,000	4,000	270,000
10,050	8,280	1118,000	5,000	1123,000	569,000	20,000	4,000	171,000
7,130	7,750	1167,000	16,000	1183,000	539,000	26,000	12,000	48,000
8,350	8,350	1174,000	16,000	1190,000	524,000	32,000	9,000	0,000
6,920	8,270	1108,000	35,000	1143,000	561,000	35,000	14,000	0,000
8,140	7,570	1276,000	14,000	1290,000	693,000	34,000	19,000	0,000

ANEXO F
Concentración de Resultados de los Análisis de Laboratorio de los Parámetros con
Menos de 80 Observaciones.

No.	Coliformes Fecales (nmp/100 ml)	Coliformes Totales (nmp/100 ml)	Detergentes (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Nitrógeno Orgánico (mg/l)
1	11000	30000	0.055	5.716	0.19
2	32	34000	0.025	8.082	0.12
3	13000	550	0.026	10.301	0.90
4	4000	970	0.051	7.970	0.06
5	220000	30000	0.128	7.864	0.49
6	13000	17000	0.080	5.753	0.50
7	16000	1600000	0.046	6.284	1.03
8	4000	30000	0.274	5.330	0.44
9	10	1600	0.025	0.846	0.28
10	40	50000	0.096	2.737	0.50
11	22	800	0.025	2.737	0.31
12	1300	153	0.026	1.066	0.50
13	270	736	0.051	0.118	0.80
14	800000	900	0.128	0.139	0.44
15	400	700	0.101	0.182	1.34
16	20	2400	0.089	0.717	1.58
17	2	270	0.112	1.898	2.92
18	130	16000000	0.145	2.726	1.88
19	20	3000	0.068	2.061	0.37
20	5000000	500	0.044	1.257	0.24
21	130	20	0.042	0.384	0.34
22	20	992	0.053	0.595	0.51
23	10	170	0.249	0.160	0.38
24	2	300000	0.061	0.093	1.06
25	40	3000	0.025	2.252	1.85
26	330	5000000	0.067	2.600	1.71
27	400	500	0.025	2.237	1.66
28	400	1300	0.077	1.257	0.37
29	2000	1700	0.044	0.985	0.24
30	18	14	0.042	0.160	0.90
31	6	350000	0.046	0.098	0.44
32	340	23	0.118	0.057	0.82
33	500	1148	0.050	1.234	1.34
34	110000	1700	0.089	1.595	0.87
35	2	400	0.116	1.282	1.49
36	130	3300	0.145	0.360	0.67
37	2	2000	0.049	0.372	0.31
38	13	70	0.052	0.291	0.37
39	700	33	0.025	0.078	0.56
40	14	4	0.034	0.088	0.95
41	40000	12	0.108	1.316	0.38
42	400	726	0.042	1.694	0.61
43	400	500	0.025	1.148	0.98
44	2	170000	0.078	0.078	0.99
45	40	2	0.025	0.098	0.61
46	70	500	0.053	0.098	0.31
47	210	130000	0.025	0.118	0.31
48	2300	30	0.042	0.078	0.34
49	80	1400	0.046	1.019	0.29
50	80	17	0.106	0.944	0.27
51	2	1100	0.057	0.613	0.61
52	13	400	0.067	0.360	1.25
53	14	70000	0.134	0.139	0.88
54	900	3000	0.025	0.203	0.83
55	140	700	0.047	0.662	0.25
56	3000	8	0.025	0.067	0.24
57		2	0.026	0.761	0.28
58		500	0.049	0.704	0.15
59		110	0.128	0.559	0.44
60		1009	0.099	0.139	0.56
61		3000	0.025	0.118	0.76
62		3000	0.134	0.160	1.05
63		3000	0.025	0.160	0.94
64		110	0.096	0.675	0.31
65		7	0.025		0.37
66		6	0.025		0.84
67		80	0.042		0.07
68		300	0.077		0.44
69		1496	0.044		0.78
70		1700	0.323		0.71
71		270	0.134		0.94
72		90000	0.025		1.05

ANEXO G

Estadísticas Básicas de los Parámetros Medidos (N=80)

PARAMETRO	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	VARIANZA	COEFICIENTE DE VARIACION
METALES PESADOS				
Aluminio	0.5165	0.7350	0.5403	142.30
Antimonio	0.0486	0.0212	0.0004	43.737
Arsénico	0.2639	1.3446	1.8080	509.48
Bario	0.0666	0.0247	0.0006	37.154
Boro	0.2160	0.0917	0.0084	42.451
Cadmio	0.0049	0.0023	0.00005	47.927
Calcio	140.06	123.71	15304.9	88.326
Cobalto	0.0031	0.0025	0.000007	83.015
Cobre	0.0078	0.0065	0.00004	84.289
Cromo	0.0208	0.0084	0.00007	40.710
Estaño	0.0478	0.0150	0.00002	31.521
Fierro	0.3617	0.3887	0.1510	107.46
Litio	0.0290	0.0498	0.0024	171.78
Magnesio	19.830	7.0515	49.723	35.558
Manganeso	0.0672	0.1258	0.0158	187.17
Molibdeno	0.0131	0.0129	0.00016	98.302
Niquel	0.0152	0.0060	0.00003	39.713
Plata	0.0076	0.0096	0.00009	126.42
Plomo	0.0046	0.0111	0.00012	239.67
Silicio	7.3531	2.9834	8.9009	40.573
Zinc	0.0294	0.0929	0.0086	315.37
FIS-QUIM-BACT				
Alcalinidad	193.78	54.542	2974.8	28.145
Cloruros	65.812	25.148	632.45	38.212
Color	59.587	68.268	4660.6	114.56
Conductividad	882.47	233.52	54536.1	26.463
DBO	3.4375	2.3321	5.4390	67.845
DQO	12.487	12.389	153.49	99.213
Dureza Total	366.82	91.431	8359.7	24.925
Fosfatos	0.1045	0.0784	0.0061	75.099
Grasas y Ac.	2.4770	2.6232	6.8815	105.90
Nitritos	0.0154	0.0198	0.00039	128.04
Nitrógeno Amon	0.1515	0.2010	0.0404	132.66
Oxígeno Dis.	9.2585	2.7907	7.7882	30.142
pH	7.8166	0.2725	0.0742	3.4866
Sólidos Dis.	712.38	192.00	36864.3	26.951
Sólidos Susp.	20.200	27.894	778.11	138.09
Sólidos Totales	732.58	192.50	37056.7	26.276
Sulfatos	211.26	116.07	13473.2	54.943
Temperatura	25.175	5.8542	34.272	23.254
Turbiedad	12.900	19.531	381.48	151.40
Gasto	706.21	1130.0	1276913	160.00

