

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERIA

01177

zey

**METODOLOGIA PARA EL SANEAMIENTO DE ECOSISTEMAS  
ACUATICOS CONTAMINADOS CON FUENTES ANTROPOGENICAS**  
Caso de Estudio Río San Juan, Querétaro

Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Ambiental

P R E S E N T A

Biól. MARIA ESTHER ARCOS SERRANO

FALLA DE ORIGEN

1995



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

*Esta tesis se realizó en el Área de Riesgos Químicos de la Coordinación de Investigación del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), dentro de la línea de investigación "Efectos sobre el medio ambiente y la salud ocasionados por sustancias tóxicas".*

*A Dios:            Porque es la naturaleza misma,  
                         manifestando su amor y sabiduría  
                         en cada ser viviente*

*Hombre, estar en comunión con El,  
porque eres parte de la naturaleza y  
destruirla es autodestrucción*

*A mis Padres:    Lucila y Hermenegildo  
                         Porque con su amor y comprensión  
                         han cimentado mi vida*

*A mis hermanos:            Porque con su cariño y apoyo  
                         han motivado mi superación*

*A María:            Porque su amistad y compañía  
                         encendió una luz en los momentos  
                         oscuros de mi vida*

*María Esther*

## AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mi directora de tesis Dra. Georgina Fernández Villagómez por el gran apoyo que me brindó, para que este trabajo se hiciera realidad.

A la Química Ana Martha Flores de la Comisión Nacional del Agua del Estado de Querétaro, por haber facilitado la información fisicoquímica referente a los monitoreos del Río San Juan y de las descargas de aguas residuales de algunas industrias ubicadas en el área de estudio.

A los profesores Dr. Jorge Aguirre, Dr. Tomás González Mórán, M en C. Julieta Pisanty Levy y M en I. Eduardo Vega por la revisión y corrección de este trabajo.

## CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	iv
LISTA DE CUADROS .....	v
RESUMEN .....	vi
<b>CAPITULO I INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 LEGISLACIÓN EN MÉXICO Y PROGRAMAS GUBERNAMENTALES .....	2
1.3 JUSTIFICACION .....	3
1.4 OBJETIVOS .....	4
<b>CAPITULO II METODOLOGIA .....</b>	<b>5</b>
2.1 EVALUACION DEL GRADO DE CONTAMINACION DEL CUERPO RECEPTOR .....	5
2.1.1 Análisis fisicoquímico .....	5
2.1.2 Análisis toxicológicos .....	7
2.1.3 Estudios hidrológicos .....	8
2.1.4 Indicadores de eutroficación .....	8
2.1.5 Análisis biológicos .....	9
2.1.6 Análisis de datos Climatológicos .....	11
2.1.7 Análisis de la información y conclusiones .....	11
2.2 DETERMINACION DE LAS CAUSAS DE LA CONTAMINACION DE LOS SISTEMAS ACUATICOS .....	12
2.2.1 Inventario y ubicación de descargas .....	12
2.2.2 Estudio de las descargas .....	12
2.2.3 Fuentes de contaminación más importantes .....	14
2.3 PLAN DE SANEAMIENTO .....	14
2.3.1 Control de las fuentes de contaminación .....	14
2.3.2 Restauración del cuerpo receptor .....	25
<b>CAPITULO III CASO DE ESTUDIO RIO SAN JUAN, QRO. ....</b>	<b>28</b>
3.1 EVALUACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN .....	28
3.1.1 Introducción .....	28
3.1.2 Antecedentes .....	29
3.1.3 Localización geográfica .....	30
3.1.4 Datos Climatológicos .....	30
3.1.5 Geología de la zona .....	32
3.1.6 Infraestructura hidráulica .....	33
3.1.7 Aprovechamiento del agua .....	33

3.1.8	Método de trabajo	36
3.1.8.1	<i>Trabajo de campo</i>	36
3.1.8.2	<i>Trabajo de escritorio</i>	37
3.1.9	Discusión y Análisis de Resultados	37
3.1.9.1	<i>Indicadores directos de eutroficación</i>	37
3.1.9.2	<i>Análisis del Índice de Calidad del Agua</i>	38
3.1.9.3	<i>Análisis toxicológico</i>	43
3.1.9.4	<i>Entrevista a pescadores</i>	45
3.2	DETERMINACION DE LAS CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL RIO SAN JUAN.	46
3.2.1	Análisis de las descargas a lo largo del río San Juan	46
3.2.1.1	<i>Municipales</i>	46
3.2.1.2	<i>Industriales</i>	47
3.2.1.3	<i>Descargas mixtas</i>	50
3.2.2	Listado de las causas de contaminación más importantes	52
3.3	PLAN DE SANEAMIENTO DEL RIO SAN JUAN	52
3.3.1	Control de las fuentes de contaminación	52
3.3.2	Alternativas para la restauración del río San Juan	56
IV	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
4.1	CONCLUSIONES	60
4.2	RECOMENDACIONES	61
	APARTADO DE FOTOGRAFIAS	62
	APENDICE A - CUADRO DE CUERPOS RECEPTORES CONTAMINADOS POR FUENTES ANTROPOGENICAS EN ALGUNOS ESTADOS DE LA REPUBLICA MEXICANA	68
	APENDICE B - DEFINICIONES DE TIPOS DE CUERPOS DE AGUA	71
	APENDICE C - PERFIL DEL RIO SAN JUAN Y UBICACION DE LAS DESCARGAS QUE RECIBE EN EL AREA DE ESTUDIO	73
	APENDICE D - CALCULO DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA	75
	APENDICE E - ENCUESTA APLICADA A LOS PESCADORES DE LAS PRESAS CENTENARIO Y PASO DE TABLAS	82
	LISTA DE ABREVIACIONES	84
	BIBLIOGRAFIA	85

## LISTA DE FIGURAS

- Fig 2.1 Diagrama de flujo para la evaluación de la contaminación del sistema acuático.
- Fig 2.1.5 Relación entre la diversidad de especies y la contaminación.
- Fig 2.2 Diagrama de flujo para determinar las causas de contaminación del cuerpo receptor.
- Fig 2.3 Diagrama de flujo para el control de las fuentes de contaminación de los cuerpos acuáticos.
- Fig 2.3.1 Diagrama del proceso de tratamiento BARDENPHO para la remoción de nitrógeno y fósforo.
- Fig 2.3.2 Diagrama de flujo para la restauración del cuerpo acuático.
- Fig 3.1.3 Mapa de localización de la zona de estudio y de las estaciones de muestreo.
- Fig 3.1.9.2.1 Variaciones de I.C.A a lo largo del río durante el período de 1986-1989.
- Fig 3.1.9.2.2 Variaciones de I.C.A a lo largo del río durante el período de 1990-1993.
- Fig 3.1.9.2.3 Escala de calificación general de la calidad del agua dependiendo del tipo de uso.
- Fig. 3.3.1 Diagrama de flujo del tren de pre-tratamiento para las aguas residuales de la industria textil 1.

## LISTA DE CUADROS

- Cuadro 2.3.1 Los conceptos principales del control integrado y sus características sobresalientes.
- Cuadro 3.1.6.1 Listado de cultivos que se producen en el Distrito No. 023 del Estado de Querétaro.
- Cuadro 3.1.6.2 Aprovechamiento del agua superficial del río San Juan.
- Cuadro 3.2.1.1 Listado de algunas industrias que descargan al drenaje municipal.
- Cuadro 3.2.1.2 Comparación de los parámetros que establecen las normas de algunas descargas presentes en el río San Juan.
- Cuadro 3.2.2 Comparación de diferentes alternativas del control de lirio acuático.

## RESUMEN

El presente trabajo propone una metodología para el saneamiento de sistemas acuáticos contaminados por descargas antropogénicas; está planteada en tres grandes etapas:

La primera es una evaluación del grado de contaminación del cuerpo acuático, la cual toma en cuenta los análisis fisicoquímicos del agua, aspectos biológicos como es la presencia o ausencia de ciertos organismos que pueden considerarse como indicadores biológicos; análisis toxicológicos, con los cuales se puede conocer el riesgo a la población humana, etc.

La segunda etapa consiste en determinar las causas de contaminación del agua superficial. Se toma en cuenta la ubicación de industrias, asentamientos urbanos y áreas agrícolas, llevando a cabo análisis fisicoquímicos de los diferentes efluentes. Posteriormente se elabora un listado de las fuentes de contaminación más importantes.

En la tercera etapa se propone el plan de restauración, tomando en cuenta los fundamentos biológicos de la autodepuración de los ecosistemas acuáticos; para ésto es necesario el control eficiente de las descargas por medio del cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), a fin de evitar el aporte de mayor cantidad de residuos al cuerpo de agua y facilitar la autodepuración del sistema acuático.

Para el cumplimiento de las NOM se mencionan algunas alternativas generales que se pueden tomar en cuenta en el tratamiento de los residuos de las diferentes fuentes de contaminación o, en su defecto, la minimización en la producción de los residuos.

La segunda fase del saneamiento, explica algunas acciones dentro del cuerpo de agua que se pueden aplicar para ayudar al Sistema a alcanzar su equilibrio; por ejemplo la extracción de lirio acuático.

En este documento se analiza como caso de estudio el río San Juan en el municipio de San Juan del Río, Querétaro. Gran extensión de las aguas del río presentan una importante degradación debido a la gran cantidad de descargas que recibe. Durante la evaluación y la determinación de las causas de contaminación se presentaron algunos problemas debido a la falta de información disponible.

Se plantea la necesidad de realizar el control estricto de todas las fuentes de contaminación y algunas alternativas de solución que se pueden realizar en el Río y presas que se encuentran en la zona de estudio.

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

### 1.1 ANTECEDENTES

Históricamente, los asentamientos humanos se han desarrollado en las márgenes de los ríos y arroyos o cualquier tipo de cuerpo acuático, con el fin de satisfacer sus necesidades más elementales. Posteriormente con la revolución industrial y la explosión demográfica, la demanda de agua potable ha aumentado y por lo tanto, las ciudades e industrias se han visto en la necesidad de retornar las aguas residuales a las fuente de abastecimiento.

De esta forma se plantea una curiosa paradoja del agua. Es un recurso y al mismo tiempo un vehículo o receptáculo de desechos; sin embargo, no existe contradicción entre estas dos funciones debido a que el líquido está dotado de un poder autopurificante: entre más dinámico es el sistema, se producen más bacterias capaces de eliminar la materia orgánica que se le agregue, pero este poder reductor no es infinito, ni se ejerce sobre los residuos químicos característicos del siglo XX y la práctica de vertido de residuos se muestra desastrosa tan pronto se rebasan los límites de la autodepuración (Bethemont, 1980).

Hoy en día la contaminación de los cuerpos acuáticos es un problema digno de tomarse en cuenta, debido a que la calidad del agua está en función de su utilización y está definida por un determinado número de parámetros cualitativos y cuantitativos.

México cuenta con suficientes volúmenes de agua para satisfacer las demandas de abastecimiento de todos los sectores, pero el creciente deterioro en la calidad del recurso hidráulico debido a la contaminación por descargas de aguas residuales sin tratar, limita sus posibilidades e incrementa sustancialmente el riesgo de afectar la salud pública y el ambiente, como es el riesgo de epidemias gastrointestinales, ya que en las aguas contaminadas los microorganismos encuentran un medio propicio para su desarrollo; por otra parte también se encuentran sustancias tóxicas procedentes de los efluentes industriales así como plaguicidas y fertilizantes provenientes de las aguas de retorno agrícola, etc. (CNA, 1993).

Actualmente se tienen 31 cuencas hidrológicas contaminadas en el territorio mexicano de las cuales 20 tienen grandes problemas de eutroficación (CNA, 1993), lo cual indica el desequilibrio ecológico en el que se encuentran los cuerpos de agua y por ende la disminución en la producción de especies acuáticas comerciales como causa de las condiciones adversas de su medio ambiente (baja concentración de oxígeno disuelto,

alta concentración de sólidos suspendidos, alto o bajo potencial de iones hidrógeno, escasez de alimento ya que la población de fitoplancton disminuye considerablemente por falta de penetración de la luz solar al cuerpo acuático, etc.)

El Apéndice A muestra algunos ejemplos de cuerpos receptores contaminados que se han publicado como noticias en diferentes Diarios de circulación nacional, así como los efectos al ambiente y las causas de contaminación. Como se puede observar, varios Estados de la República Mexicana presentan cuerpos acuáticos contaminados, que implican riesgos a la salud de los habitantes de las áreas aledañas de éstos, limitando el uso de agua para consumo humano y causando el desequilibrio del ecosistema.

## **1.2 LEGISLACIÓN EN MÉXICO Y PROGRAMAS GUBERNAMENTALES**

La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología emitió el 28 de enero de 1988; la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación; esta ley se refiere a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la protección al ambiente en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

Esta Ley presenta los criterios que se deben considerar para el control de la contaminación por descargas residuales a los cuerpos de agua, los cuales establecen el cumplimiento de las Normas Técnicas Ecológicas (actualmente Normas Oficiales Mexicanas) y el establecimiento de condiciones particulares de descarga a las que estarán sujetas dichas descargas a los diferentes cuerpos acuáticos o captadas por sistema de alcantarillado, cuando dichos sistemas viertan sus aguas en cuencas o corrientes de agua de propiedad nacional; en el capítulo II del título cuarto.

La Ley de Aguas Nacionales publicada por la Comisión Nacional del Agua, en diciembre de 1992, en su capítulo siete establece lo relacionado a la prevención y control de la contaminación de los sistemas acuáticos; está constituido por 10 artículos referentes al monitoreo, vigilancia y control de las descargas a los cuerpos receptores.

De acuerdo a la fracción III del artículo 86 de la Ley de Aguas Nacionales y ampliado en los artículos 139 fracción II y 140 del reglamento de la propia ley, es facultad de la Comisión Nacional del Agua (CNA) el fijar las condiciones particulares de descarga que deben de cumplir las aguas residuales antes de su vertimiento a bienes de la Nación.

Por otra parte, debido a la importancia social, económica y política, así como el grado de deterioro en la calidad de las aguas, la Subgerencia de Saneamiento de Cuencas y Reuso de la Comisión Nacional del Agua, elaboró un programa de saneamiento de

cuencas, en el cual se plantea como estrategia fundamental construir y operar sistemas de tratamiento de aguas residuales. Se establecieron 4 cuencas prioritarias correspondientes a los ríos Lerma-Santiago, Pánuco, Balsas y San Juan (CNA, *op cit*).

Con base en lo anterior, la Subgerencia de Saneamiento de la CNA, desarrolló el Programa de Saneamiento y Uso Eficiente del Agua en la Cuenca Lerma-Chapala, estructurado en dos etapas:

La primera comprende la construcción de 48 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales con una capacidad de tratamiento en conjunto de 3,619 L/s. Hasta marzo de 1993, se habían terminado 33 plantas de tratamiento que ya se encuentran en operación; 1 de Comisión Federal de Electricidad en Salamanca, 16 en Jalisco, 13 en el Edo de México, 2 en Guanajuato y una en Querétaro.

La segunda etapa comprende la construcción de 52 plantas de tratamiento y 5 ampliaciones, se tiene contemplado que esta fase tendrá una duración de 3 años a partir de 1993.

Como se puede observar aún no han sido reglamentadas las acciones que se deben tomar para restaurar los sistemas acuáticos que ya están contaminados, por lo cual actualmente se han realizado intentos por "sanear las cuencas" pero con pocos resultados, ya que se han dedicado exclusivamente a erradicar el lirio acuático. Por ejemplo el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua propuso en marzo de 1993, el Programa de Control de Malezas Acuáticas (PROCMA) por medio de herbicidas, lo cual no es conveniente ya que únicamente se agregan más sustancias extrañas al ecosistema; por otra parte, se está atacando sólo el efecto de la contaminación no la causa de ésta.

### 1.3 JUSTIFICACION

A pesar de las diversas leyes que han sido promulgadas hasta la fecha, así como de los programas gubernamentales existentes, hoy en día los cuerpos acuáticos se siguen contaminando y la calidad del agua está decreciendo en forma acelerada, aumentando también los riesgos a la salud, ya que se encuentran presentes sustancias tóxicas y gran cantidad de microorganismos patógenos; por tal motivo, es necesario realizar un estudio integral para evaluar el grado de deterioro ambiental en los diferentes sistemas acuáticos y determinar las causas de contaminación en cada caso para proponer algunas alternativas de solución viables.

## 1.4 OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una metodología para el saneamiento de cuerpos acuáticos contaminados con descargas antropogénicas: Caso de estudio río San Juan, en el estado de Querétaro.

### OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar la calidad del agua del río San Juan por medio del análisis de los monitoreos realizados por la CNA durante los últimos 8 años.
- Ubicar las descargas industriales y municipales mediante la señalización a lo largo del perfil del río San Juan.
- Priorizar los efluentes más contaminantes de la zona por las características fisicoquímicas de sus descargas y por sus procesos de producción.
- Proponer algunas alternativas de solución para la reducción de los riesgos a la salud y al ecosistema del río San Juan generados por las actividades antropogénicas, con base en la evaluación del grado de contaminación y sus causas.

*Todos los ecosistemas tienen la capacidad de alcanzar el equilibrio y adaptarse a nuevas condiciones;*

*El hombre debe cuidar de no sobrepasar los límites de esa capacidad.*

## CAPITULO II

### METODOLOGIA

#### 2.1 EVALUACION DEL GRADO DE CONTAMINACION DEL CUERPO RECEPTOR

La primera etapa dentro de la metodología es la evaluación del grado de contaminación, ésta se lleva a cabo mediante la investigación y análisis del ecosistema en sus diferentes aspectos como son: análisis fisicoquímico, análisis toxicológicos, indicadores de eutroficación o enriquecimiento de nutrientes, estudios biológicos, hidrológicos y climatológicos (Fig. 2.1) Es importante esta fase ya que con estos estudios se realiza el diagnóstico de la degradación del ecosistema acuático.

Los estudios y análisis que se proponen realizar se pueden aplicar para cualquier sistema acuático, además se pueden omitir algunos o integrar otros estudios que se crea son convenientes, dependiendo del cuerpo de agua que se desee investigar, ya que no es lo mismo estudiar un río a un lago. Por ejemplo, en el cauce se debe estudiar el aspecto hidrológico, ya que es importante conocer la velocidad de la corriente, el caudal, etc; por el contrario, para un lago es necesario conocer la estratificación, grado de eutroficación, algunas otras características propias del ecosistema, como es la distribución del plancton, dinámica poblacional de las especies más sensibles, etc.

En el apéndice B se presentan las definiciones de los diferentes cuerpos de agua, basadas en la Ley de Aguas Nacionales y que se deben considerar al realizar el estudio sobre la evaluación del grado de contaminación del cuerpo receptor. A continuación se presenta una breve explicación de cada uno de los aspectos del ecosistema a analizar para evaluar el grado de contaminación.

##### 2.1.1 Análisis fisicoquímico

El monitoreo continuo para el análisis fisicoquímico de los cuerpos de agua superficiales es importante dado que, las características del agua se modifican dependiendo del tipo y concentración de contaminantes que se encuentren en el cuerpo receptor. El análisis en tiempo y espacio permite conocer las tendencias y comportamiento de los parámetros físicos y químicos del agua. Dentro de los parámetros más importantes que se deben de tomar en cuenta son: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, G y A, fosfatos, turbiedad, coliformes fecales y totales, potencial de iones hidrógeno, color, conductividad, dureza total, sólidos suspendidos totales y metales pesados, este último depende del tipo de descargas presentes en el cuerpo de agua. Con estas características se puede obtener el Índice de Calidad del Agua (ICA), el cual proporciona el grado de contaminación dependiendo del uso que se le desee dar; en este caso, el interés es la vida acuática. (CNA, *op cit*).

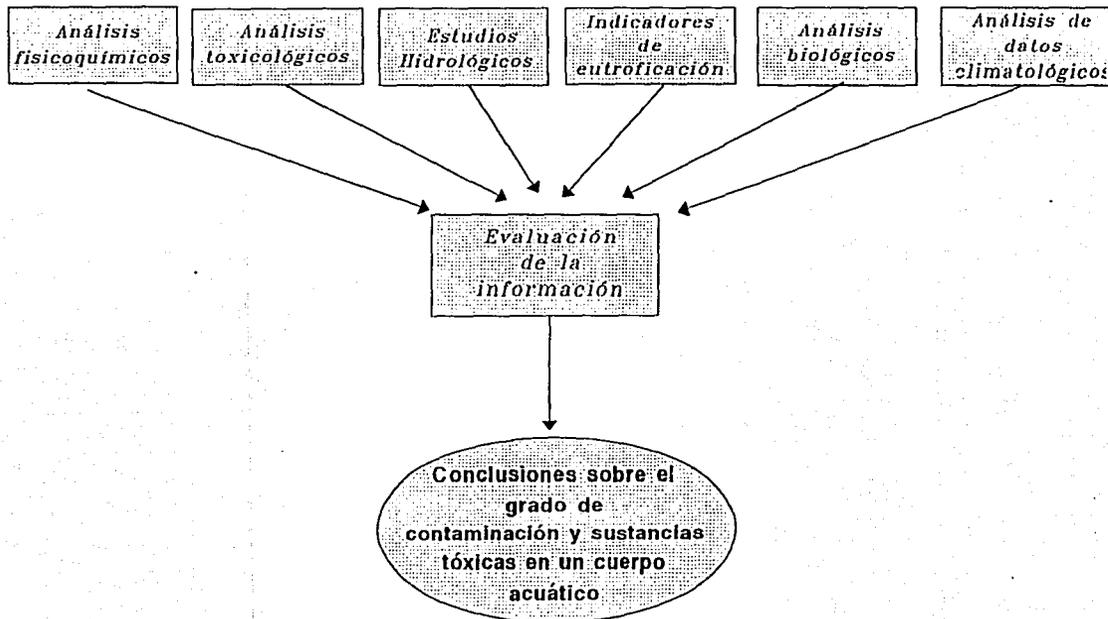


Fig 2.1 Diagrama de flujo para la evaluación de la contaminación de un sistema acuático

## 2.1.2 Análisis toxicológicos

a) Algunos compuestos químicos se encuentran en bajas concentraciones dentro de los sistemas acuáticos, por el aporte de contaminantes tóxicos, pero estos no se detectan con análisis fisicoquímicos; sin embargo afectan a la flora y fauna del ecosistema, las cuales sufren alteraciones y/o bioacumulación, por lo que es necesario realizar análisis toxicológicos para determinar las concentraciones que reflejan los niveles de contaminación ambiental, ya que la acumulación puede durar largos períodos de tiempo, mientras que el nivel del contaminante en el cuerpo de agua en espacio y tiempo dado, tal vez sea muy bajo.

El asesor de Consumo del Departamento de Recursos Naturales de Wisconsin en 1990 incluye 157 lagos y 11 ríos con peces contaminados con mercurio, como también partes de 11 ríos, Green Bay, el lago Michigan y el lago superior en los que se han encontrado bifenilos policlorados (Committee on Restoration..., 1992). Como se puede observar, es necesario realizar análisis de toxicidad, ya que cada día aumenta la concentración de compuestos tóxicos que pueden provocar riesgos a la salud.

EL D. Helwig de la Agencia de Control de la Contaminación de Minnesota, en 1991 determinó que de casi el 90% de los lagos de esa región que se han analizado, por lo menos una especie de peces comestibles contiene altas concentraciones de mercurio  $0.16 \mu\text{g/g}$  que concide con el límite máximo permisible de consumo humano a la semana y en el 38% de los lagos se encontraron  $0.65 \mu\text{g/g}$  de mercurio que es el límite máximo permisible de consumo al mes (Committee on Restoration..., *op cit*).

Para la evaluación de la calidad del agua es importante realizar bioensayos que consisten en la determinación de las respuestas de los organismos vivos (la disminución o aumento de la población, respuesta fisiológica, el comportamiento y la sobrevivencia o muerte de los individuos) para medir los efectos de los desechos tóxicos presentes en los diferentes ecosistemas acuáticos.

b) Es necesario aplicar pruebas de bioensayo en los estudios de la contaminación del agua, debido a que los análisis químicos y físicos no son suficientes para determinar los efectos potenciales sobre la biota acuática, ya que la interacción de factores químicos dan origen a diversos efectos tóxicos, originando respuestas que no se pueden determinar.

Se pueden emplear algunos organismos como los invertebrados (*Daphnia magna*), peces como la trucha arcoiris, algas (*Scenedesmus*, *Selenastrum capricornutum*) por su susceptibilidad a los compuestos químicos.

Los efectos manifestados en comunidades naturales se pueden considerar como una alerta de los posibles riesgos a la salud humana por la contaminación, sobre todo para aquéllos que habitan en los lugares vecinales a cuencas y cuya alimentación se basa en las especies comestibles del cuerpo de agua, como es el bagre, mojarra, tilapia, trucha y carpa, por lo que es importante realizar estudios toxicológicos de las especies que se encuentren en el cuerpo de agua en cuestión. Por otra parte, dichos análisis proporcionan información acerca de los tipos de contaminantes y por lo tanto de la(s) fuente(s) de contaminación industrial de la(s) que proviene(n). De esta manera se puedan proponer alternativas de solución.

### 2.1.3 Estudios Hidrológicos

Estos estudios tienen gran relevancia, ya que nos indican las cualidades hidrológicas del sistema acuático y estos deben incluir la cantidad de descargas anuales, estacionales, periodicidad de descargas, proceso de flujo superficial incluyendo velocidades, turbulencia, corrientes tranquilas; crecimiento de flujo de agua y procesos de intercambio; tiempo de retención, distribución del tamaño de partícula y cantidad de lecho y flujo del sedimento (Committee on Restoration..., *op cit*).

### 2.1.4 Indicadores de eutroficación

Para conocer el grado de contaminación, se debe tener en cuenta el estado trófico en que se encuentra el cuerpo de agua en estudio, debido al aporte de nutrientes, a la producción primaria que se lleva a cabo y al desequilibrio que provoca en los ecosistemas acuáticos.

La eutroficación de las aguas es un proceso natural de enriquecimiento de nutrientes de los cuerpos de agua, pero éste se acelera con el aporte de residuos de origen antropogénico y como consecuencia el deterioro progresivo de su calidad, principalmente en lagos, debido a la proliferación vegetal con las repercusiones consiguientes en el metabolismo global de las aguas afectadas (Vollenweider, 1969); por

La entrada de nutrientes en los lagos y embalses, acelera el incremento inmediato de la producción primaria (producción de algas planctónicas, en la zona de aguas libres o capa eufótica), esto implica un aumento en la turbiedad y un cambio de coloración del agua, que se vuelve más verdosa.

Con los indicadores de eutroficación directos, se puede observar fácilmente la calidad del agua y la estabilidad de la cadena trófica, la coloración y turbiedad de ésta junto con la presencia de olores en las capas profundas, puede ser definitivo para un diagnóstico correcto, bien en un sentido u otro, del grado de eutrofia. Así, resulta

evidente que si un desagüe del fondo de una presa produce un olor a ácido sulfhídrico, el embalse se puede considerar como eutrófico, tanto cuanto más intenso sea ese olor; lo mismo cabe decir de una fuerte coloración verde amarillenta o pardusca, junto con una falta de transparencia no imputable a material mineral. (Martínez, 1993)

Por otra parte la proliferación de algas planctónicas y la propagación de abundantes algas filamentosas flotando en la superficie denotan, asimismo, un grado de eutroficación muy avanzado; también empieza a acumularse espuma no atribuida al uso de detergentes, del mismo modo que la proliferación masiva de macrófitas litorales o de plantas flotantes (como lirio acuático), suele estar asociada a lagos eutróficos, lo cual también sugiere el aporte de nutrientes a los sistemas acuáticos.

### 2.1.5 Análisis biológicos

Los estudios de la dinámica de poblaciones de la flora y la fauna brindan información importante acerca de su densidad poblacional, velocidad de crecimiento, longevidad, integración de especies (presencia de especies endémicas antes de la perturbación del ecosistema), productividad, estabilidad, tamaño y distribución de las clases de edad, incidencia de enfermedades, defectos genéticos, etc. (Committee on Restoration..., *op cit*). El objetivo es conocer la estabilidad del ecosistema acuático y el grado de recuperación posible.

Las poblaciones de animales y plantas responde de manera inminente a la contaminación que se pudiera pasar por alto en el programa de toma de muestras químicas. Con los análisis biológicos se puede observar un inesperado descenso de la diversidad biológica, pues algunas especies pueden desaparecer y muchos organismos morir por las condiciones de contaminación y presencia de sustancias tóxicas.

La fig 2.1.5 esquematiza como se disminuye la diversidad de especies conforme aumenta la contaminación del cuerpo de agua, dado que las especies más sensibles a la contaminación desaparecen del ecosistema, generalmente la fauna cuyos índices metabólicos son superiores; mientras que otras especies aceleran su crecimiento debido a la abundancia de nutrientes, por ejemplo algunos invertebrados como *Dinocras cephalotes*, *Ecdyomurus venosus*, *Gammarus pulex*, *Asellus aquaticus*, *Chironomus riparius* y *Tubifex tubifex*. En las aguas muy contaminadas, los gusanos tubícolas suelen ser muy abundantes, formando a menudo monocultivos con densidades superiores a  $10^6/m^2$ , si la condiciones empeoran desaparecen sucesivas especies de gusanos y solo sobreviven la especies *Limnodrilus hoffmeisteri* y/o *Tubifex tubifex*; para estos organismos el vertido es un medio excelente para anidar y alimentarse, con la ventaja de que no tienen depredadores (Mason, *po cit*).

Algunas especies son particularmente susceptibles a determinados compuestos químicos y actúan como indicadoras de contaminación. Las características deseables que una especie indicadora debe satisfacer son (Resh, 1979 en Salazar, 1991):

- 1.- Solidez taxonómica: Sin discusión sobre su validez y con características morfológicas conspicuas para facilitar su identificación.
- 2.- Amplia distribución para que sea útil en área geográfica amplia.
- 3.- Abundancia: Debería ser abundante antes de que ocurra el impacto, ya que su respuesta puede ser positiva o negativa; no se debe basar en la presencia o ausencia. El argumento es que en este grupo de especies es más rápido el cambio en abundancia tanto en espacio como en tiempo.

Una ventaja de la vigilancia biológica, es que los organismos responden a la presencia de contaminantes nuevos o insospechados y de esta forma se puede detectar un cambio de tipo biológico en el ecosistema, o de alguno que afecte a determinados individuos. Como la compensación de la pérdida de organismos se lleva a cabo por medio de migraciones y reproducción, se puede observar el efecto del contaminante durante semanas e incluso meses después.

Con base en los resultados se puede proceder a un análisis más detallado, en el que tal vez se incluyan elementos químicos no considerados hasta el momento como contaminantes; por ejemplo, en el mar de Irlanda en septiembre de 1969, se observó una gran mortandad de aves marinas provocada por altos niveles de bifenilos policlorados (PCB); esto sirvió para indicar que las sustancias fueron emitidas por el desagüe de ciertas industrias químicas (Mason, *po cit*).

"Lizárraga, (1974) en Ensenada, Baja California, caracterizó las zonas típicas de enriquecimiento biológico creciente a mayor distancia de las descargas en la dársena portuaria. Encontró 12 especies de poliquetos y consideró que 6 de éstas podrían considerarse como indicadoras de sus bandas respectivas; Caracterizó la banda muy contaminada con *Capitella capitata* y *Dorvillea articulata*, la banda contaminada con *Armandia brevis* y *Diapatra splendidissima*, la banda semicontaminada con *Nephtys cornuta franciscana* y la banda menos contaminada con *Mediomastus ambisetus*" (Salazar, 1991).

Los análisis biológicos deben estar relacionados con los análisis toxicológicos mencionados en el punto 2.1.2.

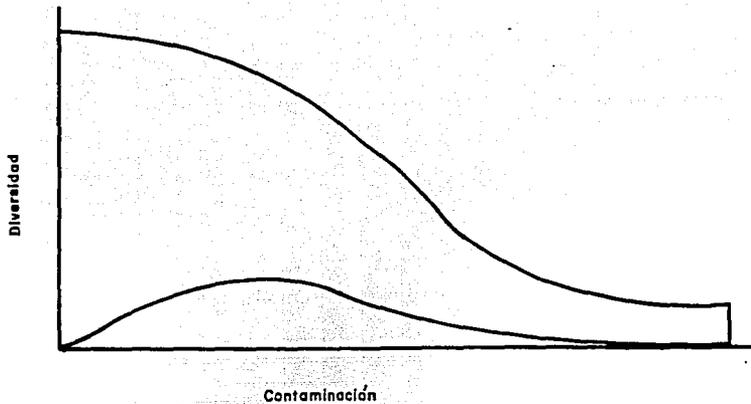


Fig 2.1.5 Relación entre la diversidad de especies y la contaminación.

Fuente: Mason, 1984

### 2.1.6 Análisis de datos Climatológicos

Con pocas excepciones (corrientes perenes, drenes de extensas tierras húmedas) el caudal de la corriente es muy variable durante el año, aunque se pueden predecir porque las estaciones son la medida de los flujos altos y bajos, debido a la capacidad de formación del cauce es función de la creciente del gasto.

### 2.1.7 Análisis de la información y conclusiones

Con los datos obtenidos por medio de los estudios mencionados en el punto 2.1, se puede diagnosticar el grado de contaminación de los ecosistemas de los cuerpos receptores, el tipo de sustancias tóxicas presentes y los riesgos a la salud. También se pueden plantear las estrategias a seguir para el saneamiento del sistema acuático. Por otra parte, esta evaluación se puede considerar como antecedente de las propiedades físicas, químicas y biológicas del cuerpo de agua, para posteriormente analizar los resultados del saneamiento.

## **2.2 DETERMINACION DE LAS CAUSAS DE LA CONTAMINACION DE LOS SISTEMAS ACUATICOS**

Las causas más importantes de la contaminación de los cuerpos de agua superficiales se deben a las actividades antropogénicas como son: descargas industriales, municipales, agrícolas y ganaderas. Dichas actividades aportan grandes concentraciones de materia orgánica y sustancias potencialmente tóxicas que causan gran desequilibrio a los ecosistemas acuáticos, los cuales no alcanzan a reestablecer su equilibrio.

De esta manera se van acumulando sustancias extrañas en el sistema y con el consecuente deterioro en la calidad del agua y la degradación del ecosistema, por lo cual es necesario realizar un estudio específico de las descargas presentes en el cuerpo receptor de interés y determinar cuáles son las causas de contaminación más importantes y el tipo de residuos que se estén aportando al sistema acuático.

En la figura No. 2.2 se muestra un diagrama de flujo en el cual se proponen los lineamientos a seguir para determinar las causas de contaminación del cuerpo receptor. A continuación se presenta una pequeña explicación de cada paso.

### **2.2.1 Inventario y ubicación de descargas**

El Inventario y la ubicación de descargas al cuerpo de agua es el primer paso para determinar las fuentes de contaminación; posteriormente es necesario realizar un análisis de las descargas. Dicha información se puede obtener de la Comisión Nacional del Agua, ya que es el organismo que se dedica a la reglamentación del uso del agua y descarga a cuerpos receptores.

### **2.2.2 Análisis de las descargas**

Es conveniente analizar la existencia de descargas industriales, el tipo de materias primas y los procesos de producción; esta información indica la importancia de las descargas y las posibles sustancias tóxicas que pudieran estar involucradas en el proceso de contaminación del cuerpo de agua superficial.

Por otra parte es importante realizar una buena caracterización de las descargas por medio del muestreo y medición de caudales de las aguas residuales, ya que con esta información se puede determinar las concentraciones que aportan las descargas. Para obtener información confiable se requieren mediciones continuas de caudal durante el día y durante el año y el muestreo se debe realizar en forma continua durante un intervalo de tiempo dado, o bien con la composición de varias muestras puntuales tamadas a cierto tiempo.

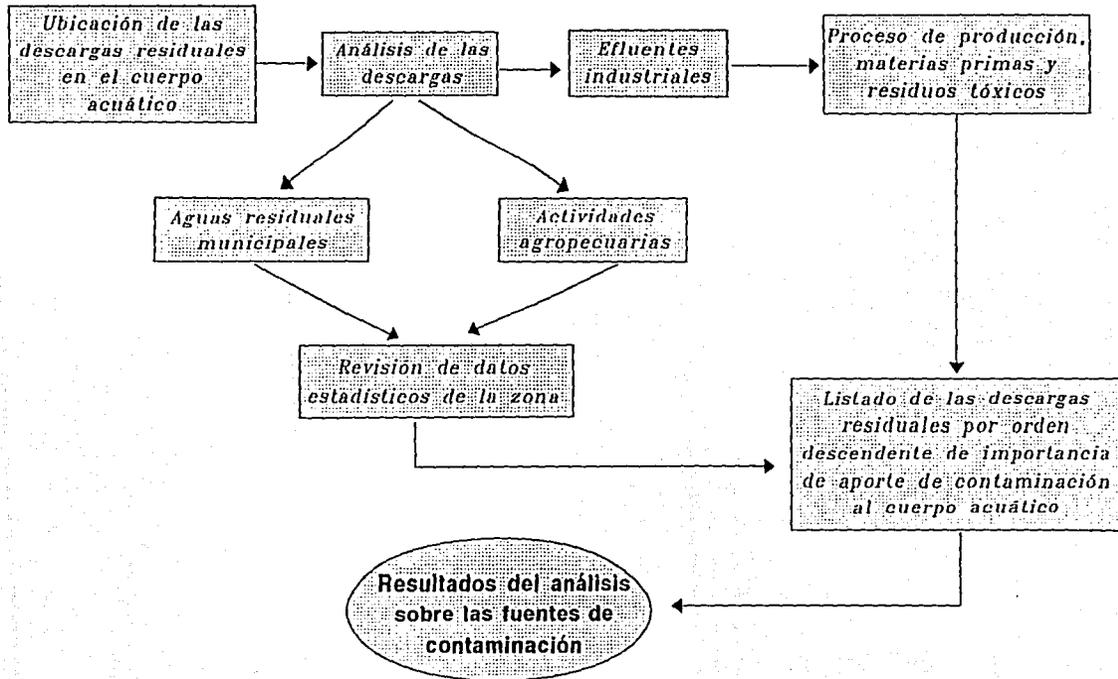


Fig 2.2 Diagrama de flujo para determinar las causas de contaminación de un cuerpo receptor

### 2.2.3 Fuentes de contaminación más importantes

La lista de fuentes de contaminación se debe de ordenar en forma descendente de acuerdo a su impacto contaminante, tomando en cuenta el volumen, concentración de DBO y toxicidad de las aguas residuales que se descargan al ecosistema. También es necesario analizar las actividades agrícolas y los drenes que desembocan al cuerpo receptor, ya que el arrastre hacia los ríos y presas trae como consecuencia el aporte de nutrientes (fosfatos y nitratos) asimismo es recomendable tomar en cuenta la actividad ganadera, debido al aporte de materia orgánica procedente del metabolismo de los animales se suma al aumento de la DBO y la disminución de oxígeno disuelto dentro del sistema acuático.

Con base en la información anterior, se determinan las fuentes de contaminación más importantes, las cuales se deben considerar al realizar el plan de saneamiento del cuerpo acuático.

## 2.3 PLAN DE SANEAMIENTO

La primera parte que se debe de contemplar para iniciar el plan de recuperación del sistema acuático es tener muy bien definido y evaluado el grado de contaminación, así como las causas o fuentes de la degradación del cuerpo de agua.

El plan de saneamiento que se propone en este trabajo está conformado en dos fases, la primera es el control de las fuentes de contaminación y la segunda la restauración del cuerpo receptor:

En la primera se plantea el tratamiento de las descargas al cuerpo acuático, debido a la importancia que tiene el manejo adecuado de las fuentes de contaminación, tomando en cuenta que el desequilibrio de los ecosistemas se origina precisamente por el aporte de sustancias "extrañas" en grandes cantidades al sistema acuático; posteriormente, lo más importante es evitar las descargas con altas concentraciones de contaminantes. En la figura No. 2.3 se muestra el diagrama de flujo para el control eficiente de la contaminación antes de las descargas.

### 2.3.1 Control de las fuentes de contaminación

Se recomienda realizar el plan para el control de las descargas que estén aportando mayor concentración de contaminantes y/o tipo de sustancias tóxicas que puedan representar algún riesgo a la salud; esto se logra instalando plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales se diseñarán después de una buena caracterización de las descargas, ya que, en caso de contener sustancias tóxicas, también se necesitará

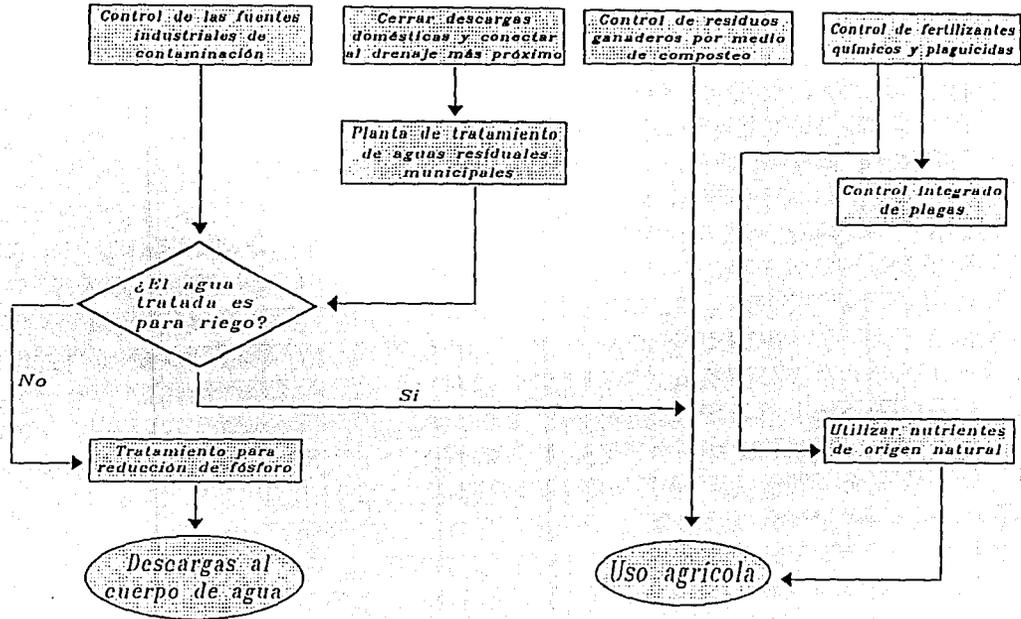


Fig 2.3 Diagrama de flujo para el control de las fuentes de contaminación de los cuerpos acuáticos

implementar tecnologías de tratamiento para la remoción de residuos peligrosos y cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas y las condiciones particulares de descarga que la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNYP) (a través de CNA, INE y PROFEPA) que establece para evitar el aporte de contaminantes al ecosistema acuático.

Es importante que, tanto las aguas residuales de las empresas con concentraciones altas de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) como a las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales, se les implemente un sistema para remoción de nutrientes (nitrógeno y fósforo); ya que, el papel que juegan éstos en el ambiente acuático es de extrema importancia, porque son los principales componentes para que se lleve a cabo la fertilización y el proceso de fotosíntesis en los ecosistemas acuáticos como en los terrestres.

Dentro de los nutrientes necesarios para el desarrollo de los organismos autotrófos está el nitrógeno, fósforo, carbono, hierro, manganeso, zinc, molibdeno y otros elementos esenciales. Las aguas residuales que contienen estos elementos que contribuyen a la eutroficación de los cuerpos acuáticos, propiciando así las condiciones óptimas para el desarrollo y reproducción acelerada de algas como: *Spirogyra*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Gleotrichia*, entre otras y la proliferación de plantas vasculares como el lirio.

La remoción de nutrientes de las aguas residuales es la solución al problema, pero la pregunta es ¿Cuáles son los nutrientes que se deben eliminar?:

- \* El carbono se considera difícil de eliminar porque es el más abundante en cualquier ambiente.
- \* Los elementos esenciales se encuentran en muy pequeñas cantidades, lo cual dificultaría la remoción en las aguas residuales.
- \* El fósforo y el nitrógeno son nutrientes importantes para todos los seres vivos y sí es posible controlarlos; la proporción de estos elementos es de 5 a 1 nitrógeno - fósforo respectivamente (Water Pollution Control Federation, 1983).

Actualmente se han aplicado con éxito 2 tipos de remoción de fósforo, la precipitación química y procesos biológicos.

El proceso químico para la remoción de fosfatos se realiza mediante la formación de ortofosfatos poco solubles, que se pueden eliminar por medio de un proceso de separación de sólidos (sedimentación). Los compuestos que se utilizan para la precipitación de fósforo son sales de tres metales (Calcio, Aluminio, Hierro II y III) que forman compuestos poco solubles de fosfatos. Las sales que se utilizan comúnmente son: hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , sulfato de aluminio hidratado  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , aluminato de sodio  $\text{NaAlO}_2$ , cloruro férrico  $\text{FeCl}_3$  y sulfato ferroso  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ .

El proceso de precipitación de fosfatos se puede clasificar de acuerdo a la localización en el tren de tratamiento:

- Pre-precipitación.- Se refiere a la adición de compuestos químicos y la remoción del precipitado junto con los lodos primarios.
- Precipitación simultánea.- Se realiza con adición de compuestos químicos y la remoción del precipitado se lleva a cabo al mismo tiempo que los lodos biológicos.
- Post - precipitación.- La adición de los compuestos químicos se realiza antes del proceso de tratamiento primario o del secundario y la remoción del precipitado se hace en un clarificador adicional. (Jenkins, 1991).

#### Procesos biológicos para la remoción de fósforo y nitrógeno.

El fósforo es un elemento importante para los microorganismos, porque lo utilizan en la transferencia de energía y para la formación de componentes dentro de la célula como son: los fosfolípidos, nucleótidos y ácidos nucleicos. Si se une un radical ortofosfato ( $P_i$ ) a un adenosin-difosfato (ADP) se forma el adenosin-trifosfato (ATP) y cuando se rompe el enlace de  $P_i$  con ADP se libera energía de 7 Kcal/mol de P (Water Pollution Control Federation, 1983).



Levin y Shapiro citados en (Stensel, 1991) reportan un 80% de remoción de fósforo después de una vigorosa aereación de lodos; cuando adicionaron 2-4 dinitrofenol al reactor. El fósforo asimilado durante la areación se inhibió; de esta manera se corroboró que la alta remoción de fósforo fue de origen biológico. También mencionan la presencia de granulos en la células, los cuales se componen de polifosfatos.

Barnald citado por (Stensel, *op. cit*) reporta que la remoción de fósforo podría ocurrir biológicamente en un sistema donde a los lodos biológicos se les proporcionaran condiciones anaerobias de suficiente intensidad, seguida de una fase aerobia.

Los mecanismos de remoción de fósforo se basan en los siguientes factores:

- Las bacterias son capaces de acumular polifosfatos en exceso.
- Las bacterias son capaces de remover materia orgánica por fermentación simple en la zona anaerobia y asimilar los polifosfatos para almacenarlos en sus células.

- En la zona aerobia, las bacterias oxidan los productos almacenados en la etapa anaerobia y también acumulan polifosfatos.

El desarrollo original de las 4 etapas del proceso BARDENPHO se diseñó para la remoción de nitrógeno sin utilizar fuentes externas de carbono (Fig 2.3.1).

- La primera etapa del proceso es anóxica, en la cual se encuentra nitrógeno en forma de nitratos en el ciclo interno de la etapa de nitrificación, en ésta se reduce en un 70% el nitrógeno en forma de gas (desnitrificación) por el efecto de degradación de la DBO del influente, ya que utilizan el oxígeno de los nitratos en ausencia de oxígeno disuelto.

- En la segunda etapa (nitrificación) las bacterias remueven DBO, oxidan el amonio a nitrógeno y también llevan a cabo la asimilación del fósforo; esta fase es aerobia.

- La tercera etapa al igual que la primera, se provee suficiente tiempo de retención para una desnitrificación adicional, por la respiración endógena, utilizando el oxígeno de los nitratos.

- La etapa final es aerobia, ésta provee un corto período de mezcla para la aereación antes de la clarificación, para minimizar las condiciones anaerobias y eliminar el fósforo en un clarificador secundario (Stensel, 1991).

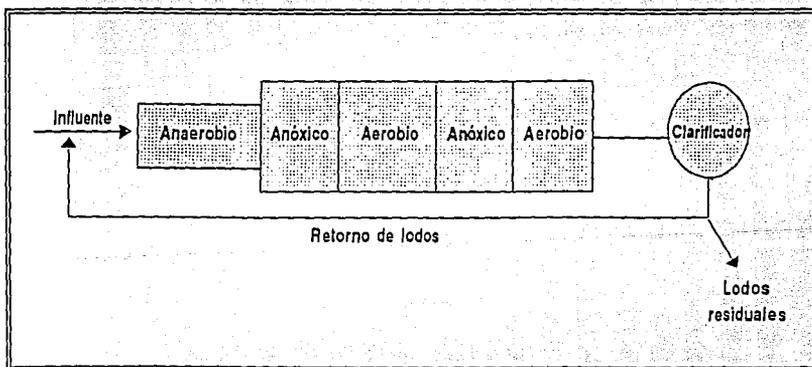


Fig 2.3.1 Diagrama del proceso de tratamiento BARDENPHO para la remoción de nitrógeno y fósforo.

(Tomado de Stensel, *op cit*).

Recientemente se han realizado estudios sobre la remoción de fósforo empleando plantas vasculares acuáticas, después de un tratamiento de aguas residuales convencionales, de tal manera que las plantas utilizan los nutrientes para su desarrollo.

Otra alternativa para evitar la fertilización de los sistemas acuáticos, es desviar el efluente para riego, ya que los nutrientes que contienen las aguas tratadas sirven como abono y de esta manera también se reducirá el uso de fertilizantes químicos. Es importante el control del fósforo que llegue al cuerpo de agua porque cuando se encuentra en exceso es uno de los factores que favorece la eutroficación y por ende todos los problemas que ello origina.

Otras fuentes contaminantes de los cuerpos superficiales son las actividades ganaderas, por ejemplo el Consejo Mexicano de Porcicultura A.C. (CMPac) reporta que un cerdo de peso normal promedio, genera cerca de 130 gramos de materia orgánica expresada como DBO/día {g DBO/SPP\*día}, lo cual indica que las concentraciones de materia orgánica son considerables. Es necesario que los ganaderos contemplen la posibilidad de dar un tratamiento biológico a estos residuos. En este caso se recomienda el composteo, con el cual se puede producir un buen fertilizante natural para emplearlo en la agricultura. CMPac reconoce la importancia y la necesidad de tratar los desechos porcinos y debido a esto, proponen un convenio de concertación con el Ejecutivo Federal para realizar diversos programas destinados a minimizar el impacto ambiental de las aguas residuales de lavado de la porcicultura.

Si en la zona de estudio existe actividad agrícola es conveniente regular la aplicación de fertilizantes y plaguicidas, ya que en la actualidad el uso indiscriminado de estos productos causa gran contaminación al suelo, al agua, a la flora y a la fauna, además de los efectos a la salud de las personas que manejan dichos productos.

**Las alternativas de solución se pueden vincular de la manera siguiente:**

a) Las aguas tratadas de las diferentes plantas de tratamiento contienen gran concentración de nutrientes. Durante la oxidación biológica, la materia orgánica se degrada a su forma más simple, de tal manera que los compuestos inorgánicos (nutrientes) se encuentran en los efluentes de las plantas de tratamiento en grandes cantidades. Dadas estas características de las aguas éstas se pueden utilizar para riego, siempre y cuando cumplan con las Normas Oficiales Mexicanas para este efecto. A su vez, se podrá reducir la aplicación de fertilizantes químicos ya que se necesitará menos concentración de éstos al regar con aguas tratadas.

b) Se sugiere la tecnología de composteo para la estabilización de los residuos que se generan en la actividad ganadera y como producto de dicho tratamiento se tendría un mejorador de suelo que funge como fertilizante natural, con lo cual la utilización de fertilizantes se reducirá aún más.

Este proceso consiste en la degradación biológica de materiales orgánicos bajo condiciones controladas de humedad, temperatura, oxígeno, nutrientes y otros parámetros; el composteo se puede llevar a cabo en un ámbito amplio de condiciones, pero los rangos ideales para carbono y nitrógeno están entre 20 y 30%, el oxígeno de 5 y 15%, la temperatura puede ser mesofílica y termofílica, aunque la microflora varía bajo estas dos condiciones.

Epstein y Alpert (1980), mencionan que el composteo aerobio acelerado se puede llevar a cabo por tres métodos:

- Métodos de hileras

El método de hileras se utiliza generalmente para la estabilización de residuos animales o en la preparación del encamado para el cultivo de hongos comestibles. Las temperaturas generalmente son más bajas, con variaciones dentro de las hileras, de lo cual resulta que la biodegradación de la materia orgánica no es uniforme a lo largo de las hileras.

- Sistema encerrado

El sistema encerrado se ha utilizado en Europa para el composteo de residuos orgánicos sólidos y de animales, pero debido a los altos costos así como los problemas operacionales no se tuvieron buenos resultados en los Estados Unidos de Norteamérica.

- Sistema de aereación forzada

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA) desarrolló el sistema de aereación forzada para el composteo de lodos. Las principales ventajas de este método para el manejo de residuos son:

- 1) Elimina malos olores y se obtiene un mejorador de suelos mediante la descomposición microbiana durante el composteo de los lodos.
- 2) El calor producido durante el composteo es suficiente para eliminar los microorganismos patógenos.
- 3) El producto puede almacenarse de forma conveniente y distribuirse bien en la tierra agrícola, en cambio se tiene dificultad para aplicar los lodos al suelo y producen olores cuando se almacenan.
- 4) Es un fertilizante orgánico y es fuente de micro y macronutrientes.
- 5) El capital de inversión es bajo, así como la energía requerida.

c) Los cuerpos acuáticos superficiales también contienen concentraciones de plaguicidas que llegan a estos sistemas con las aguas de escurrimiento de los drenes agrícolas.

Por ejemplo, Restrepo (1988) menciona que hay dos regiones agrícolas que cuentan con numerosas corrientes de agua:

- \* Tierra Caliente, en la cual se encuentran los ríos Cajones, Cupatitzio, Cancita, Buenavista, etc., que cubren una área de 83 mil hectáreas.

- \* Soconusco, Chiapas, en la cual sobresalen el Suchiate, el Cahuacán y el Coatán, que atraviesan la zona agrícola y vierten sus aguas en las lagunas y esteros de la costa.

En 1985 la Delegación de SEDUE (actualmente SEMARNYP), realizó estudios sobre contaminación agroquímica de las aguas en los sistemas acuáticos de Tierra Caliente y el Soconusco; los resultados indicaron la presencia de insecticidas organoclorados (heptacloro, los derivados de BHC, aldrín, dieldrín, endrín, p,p'-DDD, P,P'DDT y endosulfan). Tanto en las aguas de los esteros como en la de los ríos y pozos, se encontraron concentraciones variadas, aunque no rebasan los valores máximos permisibles establecidos en el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas.

Otra forma de evitar la contaminación de cuerpos de agua por agroquímicos provenientes de las actividades agrícolas es el llamado control integrado de plagas el cual consiste en mantener la densidad de una población debajo del nivel en el cual comienza a causar pérdidas económicas.

No es la aparición de una población de insectos en el campo lo que es importante, sino la densidad de esa población y el daño potencial que esté asociado a ella. La aplicación del insecticida debe depender de la pérdida económica potencial, no sólo de la aparición de una especie determinada capaz de convertirse en plaga. Este enfoque disminuiría el uso de plaguicidas y los consiguientes riesgos para la población humana, reduciendo también los costos (Arata, 1986).

El control integrado no representa una fórmula fija, sino un método adaptable basado en el tipo de cultivo, las plagas potenciales, las condiciones climáticas y la técnica agrícola; por ejemplo, un campo de maíz, algodón o caña de azúcar de 10,000 hectáreas es más susceptible a plagas de insectos que las parcelas más pequeñas de cultivos heterogéneos. Además, el uso excesivo de insecticidas es indebido y a menudo, perjudicial para el cultivo en cuestión.

Se pretende "integrar" el uso adecuado de productos químicos con diversas estrategias de manera complementaria, con el propósito de proteger al ecosistema.

La técnica de control integrado parte de la base de que en todo agroecosistema hay una dinámica de desarrollo para cada plaga; ésta tiene sus enemigos naturales. Esta técnica pretende aumentar el control natural con cualquier método adecuado, a veces incluyendo plaguicidas, tomando en cuenta el efecto sobre el agroecosistema.

El término "integrado" se refiere a la política de utilizar racionalmente toda técnica disponible para el manejo de poblaciones de plagas. La estrategia no consiste en matar a todos los insectos dañinos, sino reducir la densidad de aquellas poblaciones que podrían causar un problema de importancia comercial. Por ello, todos los métodos de control de plagas (químico, cultural, físico, genético, etc.) deben usarse con una estrategia adecuada.

El objetivo más importante del control integrado de plagas es producir una óptima cosecha de alta calidad a mínimo costo, tomando en consideración los impedimentos ecológicos en ese particular ecosistema y la preservación del ambiente. En el control integrado, la atención se concentra en la importancia de los niveles reales del daño económico que se usan para determinar la necesidad de acciones de control.

Para diseñar y aplicar un eficiente programa de control integrado se debe saber cuál es la plaga. Con ese fin es necesario clasificarlas según la fuerza con la que actúan. En general, en todo agroecosistema hay una o dos plagas principales. Sin control artificial, la población de la plaga podría estar algunas veces arriba del nivel tolerable en términos de daño económico.

El cuadro 2.3.1 presenta los métodos que se emplean en el control integrado de plagas. Estos métodos pueden fracasar si se utiliza solo un tipo de control a la vez. La mejor opción es diseñar, para cada cultivo o plaga, un sistema apropiado con la combinación con uno o varios de los otros métodos para incrementar la eficiencia de cada uno de éstos, dando por resultado la reducción de la cantidad de plaguicida a aplicar.

La manera adecuada de seleccionar el método es determinar cuál es el más específico para la plaga. De no ser así, existen algunas otras posibilidades técnicas (Restrepo, 1988):

- \* La preservación de los enemigos naturales fuera del área del tratamiento.
- \* La modificación del calendario de tratamiento para hacer coincidir con la etapa más sensible de la plaga y menos sensible del enemigo natural.
- \* La aplicación del insecticida en un lugar o en una etapa de la vida de la plaga, cuando no sufre el ataque del enemigo natural.

▪ La mayor selectividad en la formulación y aplicación del insecticida, por ejemplo, una fórmula menos persistente, un fumigante del suelo, o un tratamiento para la semilla en vez de una rociada al follaje, que tendría un efecto menos negativo en las especies benéficas.

Estas técnicas de control de plagas pueden ayudar sensiblemente a evitar concentraciones excesivas de plaguicidas en los cuerpos de agua, con lo cual mejora su calidad y disminuye el daño a los ecosistemas acuáticos.

**Cuadro 2.3.1 LOS CONCEPTOS PRINCIPALES DEL CONTROL INTEGRADO Y SUS CARACTERÍSTICAS SOBRESALIENTES**

TIPO DE CONTROL	CARACTERÍSTICAS
Control biológico clásico	La introducción de un enemigo natural exótico, adaptado especialmente a una plaga no nociva. De fácil reproducción, actúa como un control extenso y permanente. Muy efectivo en cultivos perennes.
Control biológico aumentativo	La propagación masiva y la liberación periódica de enemigos naturales nativos o exóticos, que se multiplican durante una temporada pero no llegan a ser parte permanente del agroecosistema.
Control biológico conservativo	El manejo del medio agroecológico para acrecentar y conservar las poblaciones de enemigos naturales, nativos o introducidos; se logra por medio de las policultivos, la rotación de cultivos, la correcta labranza de la tierra o el uso de desechos orgánicos para mejorar el suelo.
Control cultural	El manejo del agroecosistema con base en prácticas que evitan el éxito biológico de las plagas y enfermedades; tales como el arado, rotación, riego, etc.
Variedad de plantas resistentes	Obtención de variedades resistentes a una plaga, por medio de la selección o hibridación de una determinada planta, utilizando los actuales conocimientos genéticos.
Control físico	Utilización de barreras físicas como las cribas, collares, para evitar que posibles plagas lleguen al cultivo. Exterminio manual para animales herbívoros.
Control legal	El cumplimiento de disposiciones oficiales, por ejemplo inspección y certificación de semillas y frutales en las casetas fitosanitarias, expedición de permisos para la importación y exportación de productos vegetales.
Control competitivo	El uso de organismos inócuos para aumentar la competencia por el nicho ecológico que ocupe la plaga. Tales organismos pueden incluir variedades de parásitos hipovirulentos, cultivos altamente comparativos por la resistencia genética o inducida, insectos machos estériles, plantas para alejar la plaga del cultivo, etc.
Control químico	Además de los plaguicidas, incluye el uso de compuestos que modifican el comportamiento de los insectos, como las feromonas, repelentes y atrayentes. Los diversos plaguicidas, reguladores del crecimiento, hormonas y toxinas microbianas se utilizan para interferir con el metabolismo de las poblaciones de plagas.

Fuente: Restrepo, 1988

### 2.3.2 Restauración del cuerpo receptor

En la figura No. 2.3.2 se muestra el diagrama de flujo de la segunda fase del saneamiento de ecosistemas acuáticos, la cual se deberá llevar a cabo siempre y cuando estén controladas las descargas, ya que si el aporte de contaminantes continúa, sólo se estaría dando paliativos al problema, debido a que después de cierto tiempo se volverá a presentar la misma problemática.

Es necesario tener en cuenta el tipo de cuerpo de agua que se saneará; en caso de ser una corriente, es necesario aumentar su velocidad para así incrementar la concentración de oxígeno disuelto y la degradación de la materia orgánica. Para este efecto es necesario rectificar el río y eliminar las represas a lo largo de éste, ya que se debe eliminar el estancamiento del agua, que propicia la degradación anaerobia y la acumulación de sedimentos, sobre todo en tiempo de estiaje.

Si el cuerpo de agua es un lago o embalse, se sugiere la extracción de macrofitas (lirio acuático u otra especie que invada cuerpos de agua) en forma mecánica, debido a que éstas forman una alfombra verde que impide el contacto del espejo de agua con la atmósfera, dificultando así el intercambio gaseoso e impidiendo la penetración de luz necesaria para la producción fotosintética, ya que ésta es la base fundamental de la cadena alimenticia de los ecosistemas acuáticos.

Los embalses y los lagos eutróficos deben su gran productividad a las altas concentraciones de fósforo, producto de la degradación de la materia orgánica y el escurrimiento de los drenes agrícolas; de aquí la importancia de eliminar el fósforo en exceso que ya se encuentra en el sistema acuático. Se propone el control biológico para la remoción del fósforo y nitrógeno, esto es, aprovechar la presencia del lirio acuático u otra planta vascular que por su capacidad de reproducción asimila grandes cantidades de nutrientes. Esta especie a su vez, se controlará por medios mecánicos y si es posible, biológicos. Los métodos biológicos consisten en la introducción de un depredador selectivo (una especie animal que sea herbívora y selectiva); para implantar esta alternativa es necesario realizar un estudio ecológico que permita saber cuál es la especie idónea dadas las condiciones del ecosistema acuático.

El control mecánico es más simple, consiste en la extracción periódica de grandes cantidades de lirio por medio de barcazas (equipo mecánico), hasta que éste ya no se pueda reproducir porque las concentraciones de nutrientes le sean limitantes.

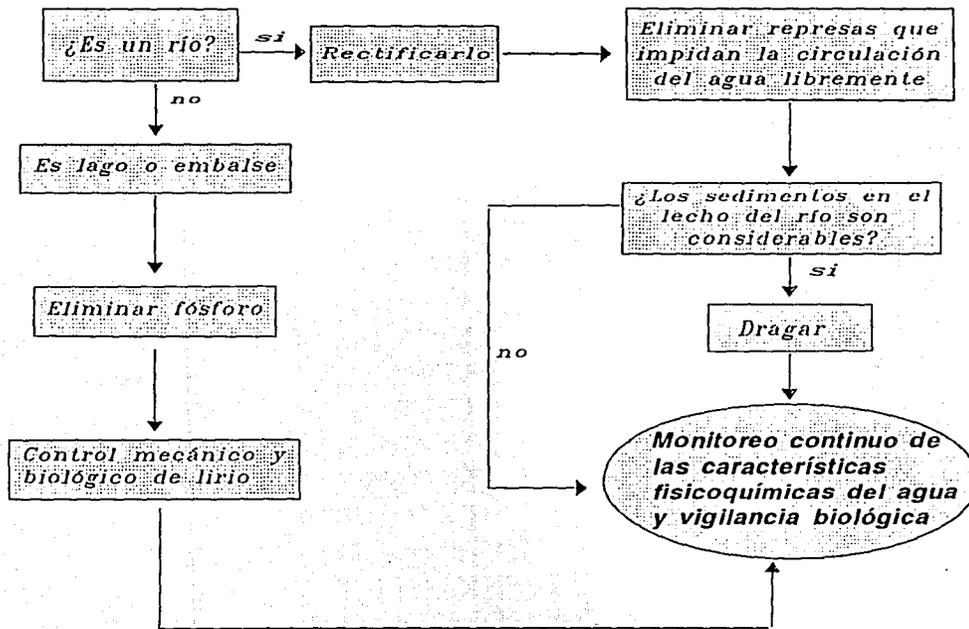


Fig 2.3.2 Diagrama de flujo para la restauración del cuerpo acuático

A la biomasa que se obtenga se le pueden aplicar dos tratamientos:

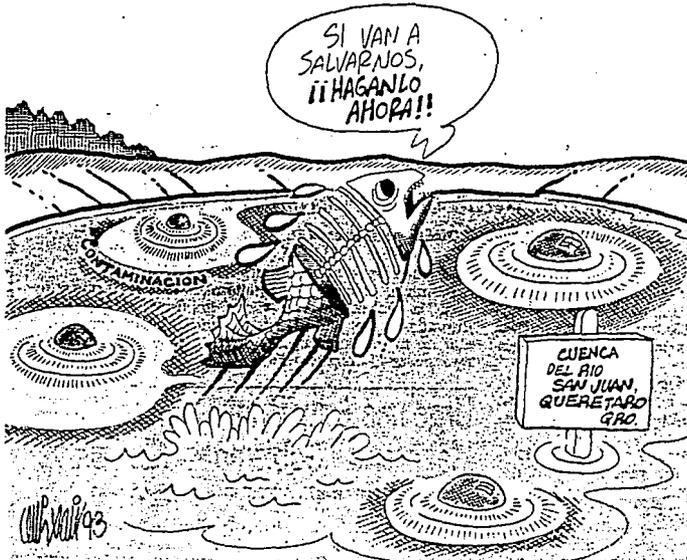
- 1) Si tiene cantidades altas de metales pesados, se recomienda desecarla e incinerarla.
- 2) Si las cantidades de metales no son importantes, se recomienda aplicar la técnica de composteo.

Se propone un monitoreo constante de las características fisicoquímicas del agua y vigilancia biológica antes, durante y al finalizar el plan de saneamiento, esto proporcionará la evaluación de la metodología.

El tiempo de la restauración no se puede precisar. Se dependerá de los recursos con que se cuente y del grado de contaminación del cuerpo de agua, puesto que de ello depende la capacidad de autopurificación del río, laguna, lago, embalse o estero, para reestablecer su equilibrio ecológico.

Desahuciado

LUIS XAVIER



México, D.F.- 15 de diciembre de 1993  
EXCELSIOR

## CAPITULO III

### CASO DE ESTUDIO RIO SAN JUAN, QRO.

#### 3.1 EVALUACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN

##### 3.1.1 Introducción

San Juan del Río, localizada en el municipio del mismo nombre, es la segunda ciudad en orden de importancia del Estado de Querétaro, considerando elementos demográficos, económicos, políticos y sociales. En la actualidad tiene una población estimada de 89,942 habitantes y existen 71 industrias de la transformación de diferentes giros; el crecimiento demográfico y el desarrollo industrial, han contribuido en gran medida al deterioro ecológico, mismo que se ha considerado grave a partir de 1978 y que se ha manifestado a lo largo del río San Juan, ya que éste es colector de las aguas residuales industriales y municipales de tipo intermitente. En época de estiaje, el río origina un foco latente de contaminación que pone en peligro a la ciudadanía de adquirir cualquier tipo de enfermedad infecciosa (CNA, 1989).

Por otra parte, desde ese año se ha observado la mortandad de peces en las presas Centenario y Paso de Tablas a partir de las primeras semanas de la temporada de lluvias, lo cual pone en evidencia el deterioro ecológico del río San Juan; además, los pobladores del lugar venden los peces muertos poniendo en riesgo la salud de los consumidores, por lo cual, es necesario llevar a cabo un estudio para evaluar el deterioro del ecosistema y determinar las causas de mortandad de los peces, así como evaluar el grado de contaminación del río y establecer posibles alternativas de solución.

### 3.1.2 Antecedentes

En la actualidad el problema de contaminación de los cuerpos de agua es muy común en las ciudades y provincias de la República Mexicana y la ciudad de San Juan del Río no es la excepción. Esta región se considera la segunda zona industrial del estado de Querétaro en orden de importancia económica. Entre las industrias de mayor importancia por su producción se pueden mencionar: las papeleras, textil, industria de componentes eléctricos y electrónicos, vinícola, industria del acero, así como la industria de alimentos y bebidas. En el período comprendido de 1973 a 1986, el río San Juan se utilizó como un colector de aguas negras, en el que se venían vertiendo descargas municipales, así como, efluentes industriales de diversos giros.

Para evaluar la calidad del agua de esta región se han realizado varios estudios. Cabe mencionar los siguientes:

Análisis de la Calidad de Agua del río San Juan en el año de 1986, elaborado por la Universidad Autónoma de Querétaro por conducto del Centro de Estudios Académicos sobre Contaminación Ambiental (CEACA), concluyendo que el río está contaminado, el agua no es apta para recreación y uso restringido para riego.

Estudio sobre Evaluación de la Calidad del Agua "Río San Juan", para el período comprendido en los años de 1986 y 1987, realizado por la unidad de calidad del agua de la representación general de la SARH, en el Estado de Querétaro; mencionando que las aguas que fluyen a través del río se consideran contaminadas, aptas solo para organismos resistentes; no recomendable para la recreación y condicionada para el riego agrícola.

Evaluación de la Calidad del Agua "Río San Juan", para el año de 1988, realizado por la Gerencia en el Estado de Querétaro de la Comisión Nacional del Agua, encontrando que la calidad del agua se considera como contaminada para todas las estaciones de muestreo, la cual tiene un uso restringido, únicamente se puede utilizar para riego en el tramo donde se localizan las estaciones R-0, R-1, R-3.

Estudio Hidrogeoquímico de la Zona de San Juan del Río-Tequisquiapan, Querétaro en 1991, realizado por Domínguez Mariani, elaboró un diagnóstico del estado de contaminación del río San Juan considerando que existe contaminación potencial hacia las aguas subterráneas debido a las infiltraciones que provienen del río San Juan.

### 3.1.3 Localización geográfica

El río San Juan nace al sureste del estado de México, originado por la confluencia del río Prieto y el arroyo Zarco, que escurre de sur a norte hasta aguas abajo de la ciudad de San Juan del Río; recibe varios arroyos tributarios y cambia su curso hacia el noroeste, constituyendo la frontera política con el estado de Hidalgo a partir de la presa derivadora "Paso de Tablas" donde se une al río Tula para formar el río Moctezuma que a su vez es afluente del Pánuco.

La subcuenca del río San Juan se encuentra localizada entre los paralelos  $19^{\circ}02'08''$  y  $22^{\circ}56'46''$  con altitudes que varían entre los 1920 y 2200 m.s.n.m. Colinda al norte con la subcuenca del río Extoraz, afluente izquierdo del río Moctezuma, al este con la cuenca del río Tula, al sur y al oeste con la región hidrológica No. 12, cuenca del río Lerma (CNA, 1989).

La zona de estudio esta ubicada en los municipios de San Juan del Río y Tequisquiapan, en la región Centro-Sur del estado de Querétaro, enmarcada por los paralelos  $20^{\circ}10'$  y  $20^{\circ}34'$  de latitud norte y los meridianos  $99^{\circ}50'$  y  $100^{\circ}10'$  oeste. Donde la estación de muestreo estan definidas por (R-#) (Fig 3.1.3).

El río presenta diferencias morfológicas con respecto a su profundidad y anchura, lo cual propicia estancamientos y azolves con retención de basura, además no cuenta con orillas bien definidas ni un derecho de vía claramente delimitado.

### 3.1.4 Datos Climatológicos

De acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García, para el área de estudio el clima se describe como semi-seco templado con verano cálido y lluvia de verano (BS'kw) (Carta Estatal de Climas).

La precipitación media anual es de 570.8 mm, con una temperatura media anual de  $16.5^{\circ}\text{C}$  y una evaporación media anual de 768.6 mm., con vientos dominantes en dirección noreste. El período de lluvias se establece en los meses de junio, julio, agosto y septiembre. Los meses de diciembre, enero y febrero se consideran como los más propicios para el fenómeno de heladas (Estación climatológica de San Juan del Río, período de 42 años, en Gutiérrez, 1980).

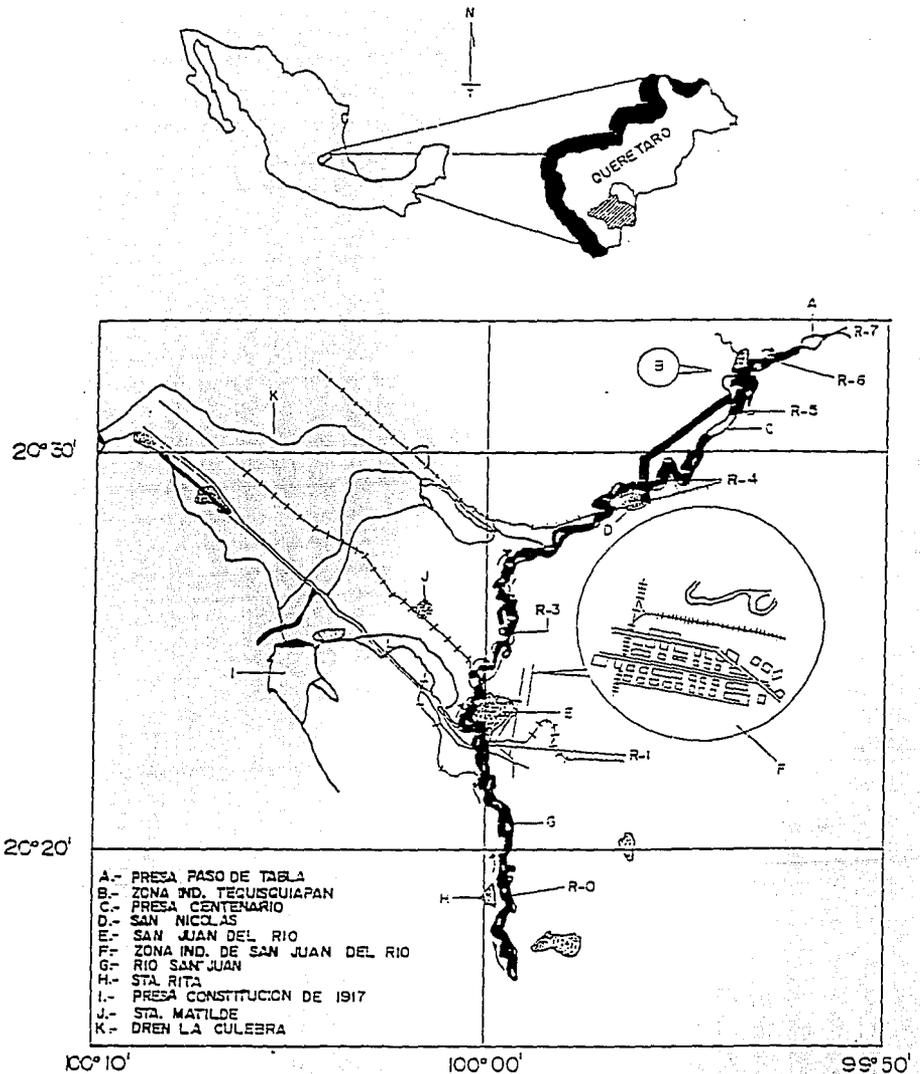


Fig 3.1.3 Mapa de localización de la zona de estudio y de las estaciones de muestreo.

### 3.1.5 Geología de la zona

Por sus características el área se puede dividir en dos partes, al oriente de esta porción se encuentra la misma disposición de la litología, aunque se presentan también algunos lomeros de andesita (50 a 100 m) y la zona norte se ubica en la parte cercana a la ciudad de Tequisquiapan, donde se forma un valle, cuyas estribaciones están conformadas por grandes aparatos volcánicos de composición esencialmente ácida, con orientación NE-SW de 700 metros o más sobre el nivel del valle; la sureña en la vecindad de la ciudad de San Juan del Río, donde predominan basaltos y depósitos de toba (Domínguez, 1991).

La parte central del valle en San Juan del Río está compuesta por una combinación de depósitos tobaceos con coladas de basaltos o riolitas como base. En algunos lugares se encuentran sólo tobas y material granular. Al NW del área, existen acuíferos confinados con intercalación de basaltos en su mayoría, aunque también se encuentran andesitas y riolitas. Al sur de esta zona, algunos pozos alcanzaron el acuífero compuesto por riolitas fracturadas (Domínguez, *op cit*).

#### Características de los suelos

En general los tipos de suelo presentes en el área de estudio son dos principalmente: vertisol pélico y phaeozem gléyico.

**VERTISOL.**- Son suelos impermeables de textura fina, con contenido elevado de arcilla. En épocas de secas el suelo se agrieta en la superficie, debido a la contracción de las arcillas, éstas al dilatarse se cierran y el material queda atrapado.

Este tipo de suelo se ubica en el área de confluencia con el río, por esto es preciso tener en cuenta este agrietamiento, ya que puede ser una vía de entrada para los contaminantes hacia el manto freático (Domínguez, *op cit*).

**PHAEOZEM.**- Son suelos permeables o semipermeables, toleran el exceso de agua, permitiendo el movimiento libre de agua, generando condiciones aerobias. Este tipo de suelo se encuentra en toda la superficie del valle y principalmente en la zona de entrada al acuífero. El carácter gléyico significa que se satura periódicamente con agua, prácticamente no se erosionan.

De lo anterior se puede observar que el papel que juega el suelo es diferente, de acuerdo a su constitución. El área delimitada por la presencia de vertisol que reviste importancia por la fracturación que produce, como una vía rápida de infiltración. En la zona de phaeozem, que es permeable, la contaminación tendería a entrar en dilución rápidamente y de acuerdo al porcentaje de material arcilloso podría presentar fenómenos de retardación.

### 3.1.6 Infraestructura Hidráulica

La obra más importante en la zona es la presa Constitución de 1917 con una capacidad de almacenamiento de 75.3 millones de m<sup>3</sup>, localizada a 10 km al Oeste del ciudad de San Juan del Río, Qro. Esta presa, además de aprovechar los escurrimientos naturales, recibe las aportaciones del río San Juan derivadas de la presa Constitución de 1857 mediante el canal del mismo nombre. Sobre el canal se encuentra la estación hidrométrica San José, que tiene por objeto la medición de los gastos que se derivan de la alimentación de la Presa (CNA, 1989).

La presa San Idelfonso, situada sobre el río Prieto que es afluente del río San Juan, tiene una capacidad de almacenamiento de 62.5 millones m<sup>3</sup> y junto con la presa Constitución de 1917, abastecen de agua al distrito de riego 023, San Juan del Río.

La presa derivadora Lomo de Toro, localizada a 500 m, aguas abajo de la presa derivadora Constitución de 1857, es de fundamental importancia dentro del distrito de riego 023, ya que los canales aprovechan las aguas del río San Juan para riego.

Cabe mencionar que dentro del distrito de riego 023 también se encuentra la presa de almacenamiento Centenario con una capacidad de 10.5 millones m<sup>3</sup>, ésta se localiza en la parte baja del embalse de la laguna de Tequisquiapan, construida con el fin de controlar las avenidas del río San Juan.

La presa derivadora Paso de Tablas localizada a 9 km aguas abajo de la presa Centenario, sobre la corriente, a 500 m de la cortina se localiza la estación hidrométrica de Paso de Tablas cuyo fin es medir las derivaciones de la presa. Al salir de la derivadora el río San Juan ha dejado atrás las planicies del Valle de Tequisquiapan.

Por otra parte, a 1 km aguas abajo de la derivadora Paso de Tablas, la corriente del río San Juan sirve por 46.5 km de límite natural entre los estados de Querétaro e Hidalgo (CNA, 1989).

### 3.1.7 Aprovechamiento del agua

De acuerdo a la CNA los usos más importantes a los cuales se destina el agua subterránea en la actualidad dentro del área de estudio son:

Abrevadero: La utilización del agua nacional destinada a la actividad de cría y engorda de ganado, aves de corral y animales. En la subcuenca del río San Juan se emplean únicamente 10 millones m<sup>3</sup>/año.

**Público urbano:** La utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos a través de la red municipal. En la subcuenca del río San Juan se emplean 21 millones m<sup>3</sup>/año.

**Industrial:** La utilización del agua nacional por las industrias para la transformación y producción de diversos artículos. En la subcuenca del río San Juan se usan 27 millones m<sup>3</sup>/año.

**Agrícola:** La utilización de aguas nacionales destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas. En la subcuenca del río San Juan se usan 470 millones m<sup>3</sup>/año. En el cuadro 3.1.6.1 se encuentran los cultivos más importantes en el distrito No. 023 en San Juan del Río.

Cuadro 3.1.6.1 Listado de cultivos que se producen en el distrito No. 23 del Estado de Querétaro.

Cultivos	Ciclo	Superficie (Ha)
Sorgo	Primavera-Verano	3 200
Maíz	Primavera-Verano	2 600
Lenteja	Invierno	1 014
Alfalfa	Perenne	772
Trigo	Invierno	668
Frijol	Primavera-Verano	470
Avena	Invierno	143
Chile	Primavera-Verano	90
Vid	Perenne	71
Jitomate	Primavera-Verano	40
Total		9 117

Fuente: (Gutiérrez, 1980)

En relación al aprovechamiento del recurso hidrológico superficial, con la infraestructura existente se aprovechan 226 millones m<sup>3</sup>/año, volumen destinado al riego de 14,000 hectáreas.

A lo largo de la zona de estudio se tienen localizadas 10 áreas ejidales y de propiedad privada, las cuales aprovechan el agua del río para riego agrícola, las cuales se presentan en el Apéndice C y en el cuadro 3.1.6.2.

Cuadro 3.1.6.2 Aprovechamiento del agua superficial del Río San Juan

Clave	Nombre	Gasto m <sup>3</sup> /año
A-1	Macedonio Gutierrez	63 072
A-2	Serefin Suárez	47 304
A-3	Francisco Herrera	255 442
A-4	Genaro Ríos	397 354
A-5	Ejido La Llave	1 261 440
A-6	Ejido La Llave	1 576 800
A-7	Ejido Vistha	1 892 160
A-8	Ejido San Nicolás	946 080
A-9	Gustavo Pérez	346 896
A-10	Aprovechamiento	97 762
Total		6 844 308

Fuente: (CNA, *op cit*).

Se tiene contemplada la incorporación potencial de 350 hectáreas a la agricultura, con un gasto de 300 L/s, producto del agua residual descargada por centros urbanos y desarrollos industriales (CNA, *op cit*).

### 3.1.8 Método de trabajo

Para el presente estudio se tomaron los datos de monitoreo que realiza la Gerencia Estatal de la Comisión Nacional del Agua (CNA). El tramo del río San Juan tiene una longitud aproximada de 53.7 kilómetros, en él se ubican 7 estaciones de monitoreo cuya localización y características se detallan a continuación:

ESTACION R-0: Está ubicada en las coordenadas 20°19'14" latitud norte y 99°59'24" latitud oeste, a 5.3 km aguas arriba de la presa derivadora Constitución de 1857 (San José), recibe un gasto de aforo de 316.3 L/s, este caudal fluye hasta la presa antes mencionada.

ESTACION R-1: Se localiza en las coordenadas 100°00'00" longitud oeste y 22°22'09" latitud norte, a 9.65 km aguas abajo de la estación R-0, en esta estación se tiene un gasto de 14.2 L/s.

ESTACION R-3: Se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 99°57'00" longitud oeste y 20°25'11" latitud norte, a 22 km aguas abajo de la estación R-0, su gasto es de 218.3 L/s.

ESTACION R-4: Se localiza en las coordenadas 99°56'13" longitud oeste, a 35 km aguas abajo de la estación R-0, su gasto es de 156.4 L/s.

ESTACION R-5: Se ubica en las coordenadas 99°53'39" longitud oeste y 20°30'37" latitud norte, a 43.8 km aguas abajo de la estación R-0, su gasto es de 216.4 L/s.

ESTACION R-6: Está ubicada 99°52'57" longitud oeste y 20°32'15" latitud norte, a 48 km aguas abajo de la estación R-0, su gasto es de 281.4 L/s.

ESTACION R-7: Se localiza en las coordenadas 99°50'13" longitud oeste y 20°32'37" latitud norte, se encuentra a 53.7 km aguas abajo de la estación R-0, su gasto es de 528 L/s. Esta estación marca el límite de la zona de estudio, a partir de este punto el agua se destina para riego agrícola en el valle de Tecozautla, en el estado de Hidalgo.

#### 3.1.8.1 Trabajo de campo

Se realizó una visita de campo a la zona de estudio, para observar las características físicas del agua a lo largo del río San Juan, Presa Centenario y Paso de Tablas, como son color del agua, turbiedad, olores (ácido sulfhídrico y metano), espuma no atribuida al uso de detergentes, proliferación de macrófitas (lirio acuático) y ausencia de fauna (peces) y ubicar las descargas residuales a lo largo del río. Se tomaron fotografías en cada una de las estaciones y en algunos efluentes industriales.

Por otra parte, se recopiló información, en CNA, sobre las características físico-químicas del río a (de febrero de 1986 a agosto de 1993), con la finalidad de determinar el comportamiento general de la calidad del agua en el tiempo y a lo largo del río. También se obtuvo la relación de las industrias que descargan sus aguas residuales al río, así como el caudal de cada una (ver 3.2).

También se aplicó una encuesta a los pescadores con el objetivo de analizar la disminución del producto pesquero.

### *3.1.8.2 Trabajo de escritorio*

Se determinaron los Índices de Calidad del Agua (ICA) para cada mes y cada estación, tomando en cuenta 10 parámetros, los que se eligieron debido a su importancia dentro del sistema acuático, además por su disponibilidad para todos los meses y en todas las estaciones.

El cálculo del ICA se muestra en el apéndice D, posteriormente se elaboraron gráficas para observar la tendencia del ICA en tiempo y espacio (figura 3.1.9.2.1 y 3.1.9.2.2).

También se analizó la información sobre las fuentes de contaminación proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (dada la finalidad de este documento no se mencionan los nombres de las empresas).

## **3.1.9 Discusión y Análisis de Resultados**

### *3.1.9.1 Indicadores directos de eutroficación*

Es importante realizar un reconocimiento del área de estudio y analizar las características del cuerpo acuático, las cuales dan una apreciación cualitativa del grado de contaminación, ya que el aspecto físico cambia drásticamente con el aporte de ciertos contaminantes.

Al realizar la observación directa se encontró que en la estación R-0 llegan aguas de escurrimientos fluviales. La coloración es café, efecto del arrastre de suelo de las partes altas de las laderas. También se observa espuma blanquecina en las márgenes del río, lo que indica la presencia de residuos de detergentes (quizás procedente de algún lugar aguas arriba) (foto 1).

En la foto 2 se observa el canal "lomo de toro" en el cual descarga sus aguas residuales la industria papelera 1, ubicada después de la presa Constitución de 1857. El agua presenta apariencia jabonosa con fuerte olor a azufre, color amarillento y la temperatura es aproximadamente de 38°C. El canal descarga al río San Juan aguas abajo de la presa Constitución 1857 (ver apéndice C).

En la estación R-3 se localiza la planta de tratamiento municipal, la que descarga sus aguas directamente al río, éste presenta coloración café con apariencia espumosa y alta turbiedad (foto 3). Por otra parte no se observan organismos vertebrados, la ausencia de fauna como son los peces es índice de la alta contaminación. Estas características se observan a lo largo del tramo (entre la estación R-3 y la R-5).

Aguas arriba de la estación R-4 se encuentra la presa Centenario, en ésta se observa proliferación de lirio acuático; su apariencia es una alfombra verde esmeralda que se extiende aguas adentro del vaso lacustre antes y después de la cortina, el agua de la presa es de color "negro azabache", la transparencia es nula y despide un fuerte olor a metano lo cual indica la degradación anaerobia de materia orgánica. Después de la cortina se observa espuma que no se debe a los detergentes (foto 5). Estas características suelen estar asociados a lagos o embalses eutróficos.

Los síntomas típicos de una eutroficación inminente son: primero un aumento de la cantidad de biomasa, apreciable en la vegetación macrofita acompañado de la disminución de especies típicas y la aparición de organismos indicadores en las comunidades vegetativas; segundo, la variación cualitativa y cuantitativa en la fauna planctónica y béntica, así como en la población piscícola. Si bien los miembros de esta última pueden ser mayores al principio, las variaciones son más acusadas en un estado de eutroficación más avanzado, con una disminución de los organismos vertebrados y un correspondiente aumento de los invertebrados, así como la disminución de la transparencia del agua y alteración de su color azulado (Vollenweider, 1968).

El río San Juan, y las presas Centenario y Paso de Tablas muestran una eutroficación inminente, dadas las características que se describen anteriormente, aunada a la recurrencia de la gran mortandad de peces como la mojarra, carpa, bagre, lobina entre otras, en las dos presas, durante tres años consecutivos.

### *3.1.9.2 Análisis del Índice de Calidad del Agua*

En la se observan Las tendencias del índice de calidad del agua (ICA) para los años 1986-1989, se muestra en la gráfica 3.1.9.2.1 y en la gráfica 3.1.9.2.2 para los años 1990-1993. El análisis muestra que tienen comportamientos similares.

En la estación R-1, 9 km río abajo de la R-0, se tienen los índices de calidad más altos. Se encuentran en el ámbito de 46-66. Aún así estos valores no son satisfactorios para la vida acuática; ver fig 3.1.9.2.3 (índice mínimo para un ecosistema en equilibrio es de 70 ICA). En la estación R-3, a 21 km río arriba donde inicia el área de estudio, el ICA desciende hasta 18 (el más bajo para 1988) y 23 para 1989. Nótese que en esta estación se encuentran los índices más bajos siendo inaceptables para la vida acuática. Es importante hacer énfasis que antes de la estación R-3 se ubican las descargas de la industria textil, la papelería 1, la planta municipal y el parque Valle de Oro (Apéndice B), cuyas características de descarga se describen posteriormente.

La estación R-4 presenta la misma tendencia. La calidad del agua permanece baja en el tramo de la estación R-3 a R-4; en este tramo se encuentran descargas municipales de los diferentes poblados que están a las orillas del río. En consecuencia el río no tiene la capacidad de autopurificarse (Apéndice C).

En la estación R-5 aumenta el ICA en el ámbito de 30-50; este punto de muestreo se localiza después de la presa Centenario y esta recuperación del ICA posiblemente se debe a que el embalse sirve como un gran sedimentador, reduciendo la demanda bioquímica de oxígeno. También el agua se oxigena durante la caída a través de la cortina de la presa.

Después se tiene nuevamente un descenso en la calidad del agua, (20-40); en la estación R-6, a este punto llegan principalmente descargas municipales de barrios aledaños al río, del club de golf y efluentes municipales y del rastro de Tequisquiapan, como es de esperarse la DBO aumenta, reduciéndose el ICA en la estación.

En la última estación (R-7) aumenta la calidad del agua (30-50); debido a que el cauce del río entra a la presa Paso de Tablas y se repite el comportamiento de la presa Centenario que se describió anteriormente.

# RIO SAN JUAN

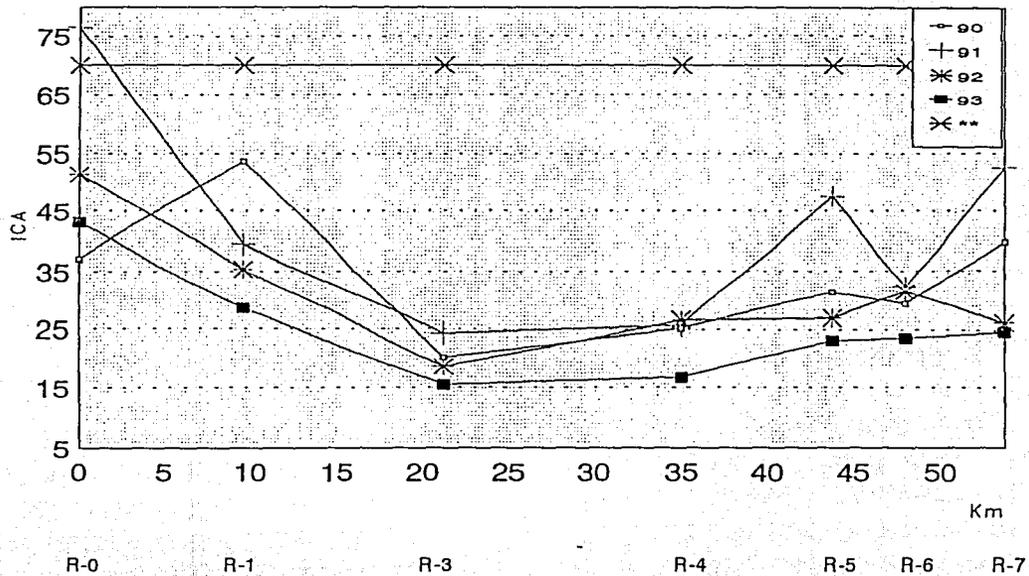


Fig 3.1.9.2.2 Variaciones de I.C.A a lo largo del río San Juan durante el período de 1990-1993

\*\* Valor mínimo para sistemas acuáticos en equilibrio

# RIO SAN JUAN

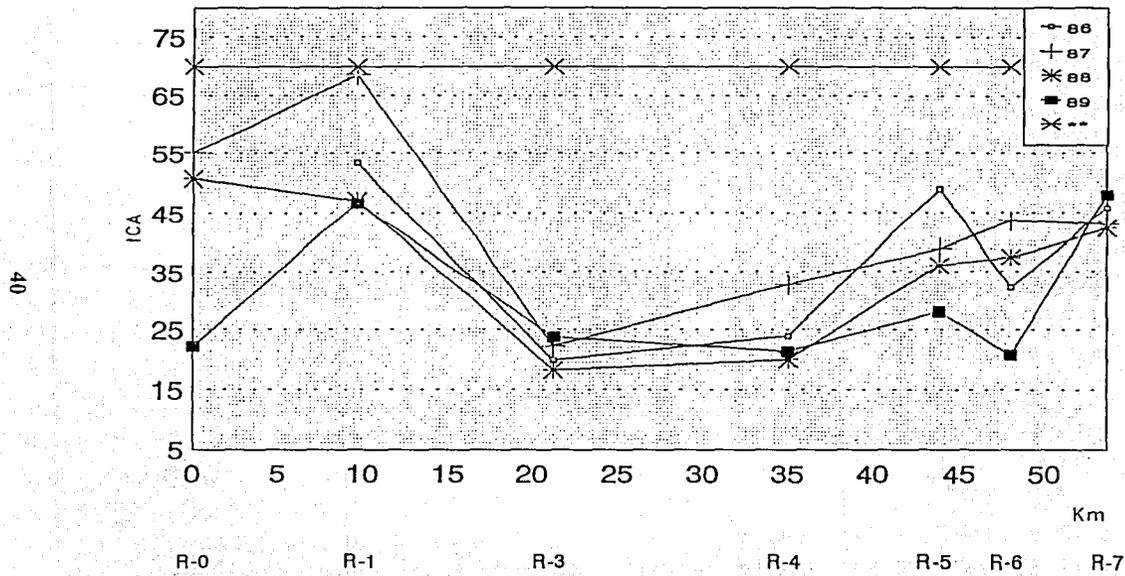


Fig 3.1.9.2.1 Variaciones del I.C.A a lo largo del río durante el período de 1986-1989

\*\* Valor mínimo para sistemas acuáticos en equilibrio

I C A	100	No requiere purificación			No requiere purificación	A C E P T A B L E	A C E P T A B L E	
	90	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación para algunos procesos			
	80							
	70	Mayor necesidad de tratamiento		No para especies muy sensibles	Sin tratamiento industria normal			
	60		Aceptable pero no recomendable	No para especies sensibles				
	50	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo organismos muy resistentes	Con tratamiento en la mayor parte de la industria			
	40		Sin contacto con el agua					
	30	I N A C E P T A B L E	Contaminado	I N A C E P T A B L E	Uso muy restringido			Contaminado
	20							
	10		I N A C E P T A B L E					I N A C E P T A B L E
		Agua potable	Recreación	Pesca y vida acuática	Industrial y agrícola	Navegación	Transporte de desechos tratados	

Fig 3.1.9.2.3 Escala de calificación general de la calidad del agua dependiendo del tipo de uso (CNA, *op cit*).

La fig 3.1.9.2.2 muestra las tendencias del índice de calidad del agua (ICA) para los 1990, 1991, 1992 y 1993, presentando un comportamiento muy similar a los años anteriores, aunque en todas las estaciones el índice de calidad del agua es menor. Nótese que para el último año, el ICA es muy bajo (15-55) para todas las estaciones, lo cual indica que los contaminantes se están acumulando a lo largo del río y de las presas, provocando el consecuente azolvamiento del área de estudio y propiciando condiciones anaerobias.

El análisis de los datos permite establecer que todos los años y en todas las estaciones se tienen índices de calidad muy bajos. La calidad del agua no es apta para la vida acuática (ICA < 70).

### 3.1.9.3 Análisis toxicológico

La mortandad consecutiva de peces de la presa Centenario y Paso de Tablas, en los últimos 3 años; durante los meses de junio de 1992, agosto de 1993 y febrero de 1994 (se clasificó como a gran escala) tiene implicaciones económica y alimenticia que tiene para los pobladores del lugar y sus alrededores, por lo que es necesario investigar la calidad sanitaria de estos peces para evitar riesgos a la salud. El Instituto Nacional de la Pesca (INP) realizó en julio de 1992 un estudio toxicológico a las mojarra en las presas Paso de Tablas, Constitución de 1917 y Centenario.

Reportando lo siguiente:

a) PRESA PASO DE TABLAS. "Se constató la existencia de mortandad de peces cuya magnitud quedó clasificada como *mortandad mayor* (40 toneladas de peces, en el periódico Rotativo de Querétaro, 24 de junio de 1992), ya que el número de peces muertos fue de miles, además de estar constituido de diversas especies como son: bagre, carpa, lobina, sardina, charal y mojarra, de las cuales fue imposible tomar muestras ya que se encontraban en proceso de descomposición avanzada".

Los resultados del análisis fisicoquímico del agua, "la presa presenta un desequilibrio entre las relaciones de alcalinidad, dureza y pH, aunado a la presencia de metales pesados como plomo (32 ppm) y otras sustancias potencialmente tóxicas, que arribaron a la presa provocando un cambio brusco de las condiciones ambientales, produciendo un desequilibrio en el mecanismo de intercambio gaseoso que afectó a un gran número de peces presentes en el embalse" (INP, 1992).

Los criterios de calidad del agua para sistemas acuáticos de la Agencia de Protección al Ambiente para la toxicidad crítica en agua dulce es de 1.09 g/L (se tomo en cuenta la dureza total del agua 144 mg/L) (USEPA en Arcos *et al*, 1992). Como se puede observar la concentración de plomo en la presa está dentro de este criterio.

Se realizaron pruebas toxicológicas de la mojarra para determinar las concentraciones de metales pesados (Hg y Pb), encontrando lo siguiente: Pb = 0.12 ppm y Hg = 0.056 ppm.

b) PRESA CENTENARIO. "Se observó que en toda la orilla del embalse hay abundantes residuos de materia orgánica producto del proceso de fabricación de papel".

En esta presa no se realizaron análisis fisicoquímicos, ni toxicológicos a los peces. Es necesario su realización, ya que es la presa que presenta mayor contaminación de las tres.

c) PRESA CONSTITUCION DE 1917. "Las propiedades fisicoquímicas del agua en el embalse presentan valores bajos de oxígeno disuelto; (el valor máximo fue de 3.2 ppm), lo cual indica que el desarrollo de los peces es lento, ya que esto repercute en la buena oxigenación del cuerpo haciéndolos susceptibles a parásitos y enfermedades. Con respecto a la dureza y alcalinidad se observa baja disponibilidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para crecimiento del fitoplancton. En cuanto a metales pesados, el plomo se encuentra en 19 ppm, lo que es digno de tomarse en cuenta por su tendencia a la bioacumulación en los organismos acuáticos" (INP, 1992).

Las pruebas toxicológicas de la mojarra para determinar las concentraciones de metales pesados (Hg y Pb) arrojaron los siguientes datos, Pb = 0.07 ppm y Hg = 0.041 ppm.

Los niveles detectados de mercurio y plomo en tejido muscular de mojarra obtenidas de los cuerpos de agua, se encuentran dentro de los niveles máximos permisibles en alimentos (Pb < 10 ppm y Hg < 0.5 ppm) (CFR 21, parte 189.120 en Reilly, *et al.*, 1980). Esto muestra que la calidad sanitaria de las mojarras se encuentra dentro de la norma del Código de Regulación Federal de los Estados Unidos de América.

### 3.1.9.4 Entrevista a pescadores

Se realizó una entrevista a los pescadores para conocer la problemática sobre la producción pesquera (Apéndice E) obteniéndose los siguientes resultados:

Los pescadores mencionan que desde la ubicación de las empresas (hace aproximadamente 17 años), especialmente de la papelera 1, el embalse empezó a cambiar. El agua adquirió un color verdoso y con olor a azufre y metano; a los 4 años se presenta la primera mortandad de peces a gran escala. Debido a esta situación el número de pescadores se ha reducido en tamaño paulatinamente (de 30 pescadores hace 5 años a 12 en la actualidad). La mortandad de peces se sigue presentando; hace 3 años murieron aproximadamente 10 toneladas de peces, (lobina, bagre, carpa, tilapia y mojarra). A partir de este suceso únicamente existe carpa y mojarra, ésta última ya no se desarrolla igual, su peso máximo alcanza 250 g y una longitud de 15 cm. Anteriormente se producían mojarras con peso promedio de 1000 gramos.

Desde 1993, la presa Centenario adquirió un color negro y un fuerte olor a azufre; que se percibe hasta a 4 km a la redonda; como es el caso del poblado de La Trinidad. Por otra parte, el embalse está cubierto de lirio acuático en aproximadamente el 75% de su superficie. Los peces que sobreviven presentan un color negro en sus vísceras. Se menciona que durante el mes de febrero de 1994 los peces se estuvieron muriendo durante 2 semanas en forma consecutiva, aparentemente de asfixia.

Para la Secretaría de Pesca, la presa Centenario se considera "muerta" ya que no es apta para desarrollo piscícola (INP, 1992). Sin embargo, la gente sigue consumiendo los peces que aún sobreviven en el embalse; además es el único abrevadero para el ganado que existe en la zona, además los animales también consumen lirio acuático (buen acumulador de metales pesados), los cuales a su vez se acumularán en el ganado que los consume y de ahí al hombre.

Existe un gran riesgo a la salud de los pobladores que se encuentran cerca de la presa y para la gente que consume los peces, el ganado y los derivados de la leche que se extraen de dichos animales, así como los alimentos agrícolas que se cosechan en los lugares aledaños, ya que esta agua también se emplea para riego.

Después de recorrer 4 km, el agua de la Presa Centenario desemboca a la presa Paso de Tablas. Los pescadores mencionan que cuando se abre la compuerta de la presa Centenario, se presenta la mortandad de peces en la Presa Paso de Tablas; los peces mueren al instante, y los que logran alejarse sobreviven, lo cual indica la pésima calidad del agua de la presa aguas arriba.

## 3.2 CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL RIO SAN JUAN.

### 3.2.1 Análisis de las descargas a lo largo del río San Juan

#### 3.2.1.1 Municipales

En San Juan del Río se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales. Localizada al norte de la ciudad, emplea el proceso de filtros biológicos y tiene una capacidad instalada para tratar 125 L/s, que corresponde a una población servida de 4,500 habitantes, misma que actualmente representa el 63% de la población. El proceso consta de sistemas de separación de sólidos mediante rejillas fijas metálicas, tres tanques sedimentadores regulares y un medidor Parshall. Estos elementos constituyen el pretratamiento (CNA, *op cit*).

La planta de tratamiento actualmente no está trabajando con la eficiencia necesaria, debido a que no se consideró el otro 37% de la población y las 80 industrias de diferentes giros (en el cuadro 3.2.1.1 se observan algunos ejemplos), lo cual conlleva al mal funcionamiento de la planta debido al exceso de carga orgánica y a los compuestos tóxicos que afectan el ecosistema del proceso biológico. La planta descarga al río San Juan, cuyas características principales son: materia orgánica e inorgánica disuelta, G y A, detergentes, coliformes totales, materia flotante, hierro, plomo, cobre y aluminio (datos proporcionados por la Subgerencia de Administración del Agua, en Querétaro). El cuadro 3.2.1.2 presenta la concentración de algunos parámetros que se obtuvieron del colector municipal en 1988, como se puede observar son muy altos. En la foto No. 3 se observa la descarga de la planta de tratamiento.

Por otra parte, se tienen las descargas residuales del rastro de San Juan del Río, de los poblados de San Pedro Ahuacatlán, pueblos aledaños al río y por último el municipio de Tequisquiapan y su rastro. En el cuadro 3.2.1.2 se presentan algunas parámetros de las aguas residuales del rastro de Tequisquiapan que se que obtuvieron en 1988, como se puede observar si cumple con la NOM-CCA-022-ECOL/1993, a excepción de G y A; aunque es necesario realizar una buena caracterización de este efluente, porque no es lógico el comportamiento anterior debido a que su proceso de producción genera altas concentraciones de materia orgánica biodegradable y descarga sin tratamiento alguno a lo largo del río hasta la presa Paso de Tablas (límite del área de estudio).

**Cuadro 3.2.1.1 LISTADO DE ALGUNAS INDUSTRIAS QUE DESCARGAN AL DRENAJE MUNICIPAL**

INDUSTRIA	RESIDUOS
Parafinas	Ceras y parafinas
Industria vinícola	Residual de alcohol
Resinas y herramientas	Resinas y metales pesados (cromo)
Industria química	Residuales químicos
Teñido de fibras (2)	Pigmentos de teñido
	<b>MATERIA PRIMA</b>
Grupo industrial	Zinc, sosa y ácido sulfúrico
Eléctrico	Cobre, plomo, papel
Industrias de plástico (3)	Polietileno, polipropileno, cinturón
Industria química (2)	Naproxen, alfa-fenil etil, aguarráz, sosa, hipoclorito
Resinas	Resinas sintéticas

(#) Número de industrias

Fuente: Comisión Nacional del Agua (Querétaro, 1992)

### 3.2.1.2 Industriales

Dentro de la zona industrial se encuentran los siguientes giros industriales: papelería, textil, alimenticia, metal-mecánica y química. Debido a sus procesos de transformación y por la materia prima que utilizan, es importante realizar un análisis de las descargas y su posible impacto al ecosistema acuático.

#### a) Sector papelerero y celulosa

Por su relevancia de producción e impacto económico, este ramo industrial está considerado como el de mayor importancia a nivel municipal.

La industria papelerera No. 1 se dedica a la manufactura de papel; los productos terminados son: papel absorbente, higiénico y desechable; por otra parte se tiene línea de fibra dura, como son cuadernos, papel bond, papel para impresión. Las materias primas son: celulosa virgen de madera suave y dura, de pino y abedul; pino y bagazo y varias sustancias químicas (colorantes, blanqueadores, sustancias para destinte, etc).

La industria en la actualidad se abastece de agua de 4 pozos profundos, con un volumen de extracción de 10'921,530 m<sup>3</sup>/año. Descarga un promedio de 260 L/s, que equivalen a 8'199,360 m<sup>3</sup>/año, la cual tiene aprovechamiento con fines agrícolas dentro del distrito de riego de San Juan del Río.

El origen de las aguas residuales proviene del proceso de fabricación de papel y lavado, calderas, servicios generales y sanitarios. Las características principales de estas aguas son alta concentración de DBO, SST, G y A, cloro, coliformes totales y DQO (Ver cuadro 3.2.1.2), en el cual se observa que para el año de 1988 sobrepasó la NOM-CCA-024-ECO/1993 (que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de papel a partir de celulosa virgen), para DBO y SST. Esta empresa descarga sus aguas residuales al cauce del río San Juan (foto 4 y 6).

La industria papelerera No. 2, elabora papel y cartoncillo, envases tetrapak, papel manila, estucado, lainer y folder. Las materias primas son: celulosa, desperdicios de papel y cartón, caolín, sulfato de aluminio, almidón, antiespumantes, bactericidas y sosa cáustica. En la actualidad esta empresa tiene un volumen de extracción autorizado de 3'500,000 m<sup>3</sup>/año, extrayendo solamente 2'207 000 m<sup>3</sup>/año para su proceso de producción.

Las aguas residuales provienen del proceso industrial de calderas de enfriamiento y servicios generales, las características principales son G y A, DBO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, coliformes totales, boro y hierro. En el cuadro 3.2.1.2 se observa que esta industria para 1988 no cumplía con la NOM-CCA-025 ECOL/1993 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la elaboradora de papel al partir de fibra celulósica reciclada, para la DBO y SST. Sin embargo actualmente sus descargas presentan buena calidad (Flores, 1994). En la foto 8 se observa esta descarga.

## b) Sector textil

La industria textil en San Juan del Río realiza proceso el teñido y acabado de telas, como son: el teñido en poliéster acrílico y poliéster-algodón. Las materias primas que se utilizan son sal industrial, ácido acético, sosa cáustica, carbonato de sodio, clorito de sodio, nitrato de sodio, hidrosulfito, hipoclorito, detergentes, resinas líquidas, anilinas, ácido oxálico, silicón y colorantes. Tiene autorizado para su abastecimiento de agua 3 pozos, con un volumen autorizado de 3'900,000 m<sup>3</sup>.

Las aguas residuales se originan en el proceso de producción (lavado, teñido y enjuagado), calderas, servicios generales y sanitarios. Sus características principales son: G y A, cloro, sólidos suspendidos totales, coliformes totales, boro, cobre y color. En el año 1988 se descargaban en promedio 79 L/s; en el cuadro 3.2.1.2 se observan las concentraciones promedio de algunas características de su agua residual comparadas con la NOM-CCA-014-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria textil; se observa que las características G y A, y SST sobrepasan dicha norma. En la foto 7 se presenta el efluente de la industria.

## c) Sector alimenticio

### Industrialización del maíz

Los productos terminados de la industrialización del maíz son glucosa, almidón, germen seco, fibra seca (salvado), gluten seco y la materia prima es fundamentalmente maíz y como productos secundarios: ácido clorhídrico, dióxido de azufre y carbonato de sodio. Sus aguas residuales se generan en el proceso de selección del grano, lavado del germen y almidón, secado del gluten y almidón, servicios generales, sanitarios, y calderas de enfriamiento. No se tiene información disponible para discutir en este rubro, aunque por su proceso de producción se puede inferir que sus aguas residuales contienen altas concentraciones de DBO.

### Lacteos

Industria que se dedica a la transformación de la leche, actualmente descarga al río San Juan 25, 229 m<sup>3</sup>/año. Los principales contaminantes en sus descargas son color, materia orgánica, pH bajo, G y A, microrganismos patógenos, nitrógeno y fosfatos. De acuerdo a los resultados de los análisis obtenidos en el año de 1998 (cuadro 3.2.1.2) se observa que no cumple con la NOM-CCA-009-ECOL/1993.

d) Otros

\* Empresa que se dedica a la fundición de acero, fabrica productos de acero-bajo carbón, acero C-5 y válvulas; tiene como materias primas la arena sílica, chatarra de acero, hierro, bronce, ácido p-tolueno sulfónico, resinas fenólicas, todo tipo de metal o aleación, así como el agua para sus torres de enfriamiento y servicios sanitarios, las características principales son: G y A, SST, DBO y coliformes totales.

\* Fraccionamiento industrial, cuyos giros son: metal mecánica, industria del plástico, alimenticia y galvanoplastia. Sus aguas residuales tienen las siguientes características: pH alto, G y A, sodio, cloro, DBO, SST, SDT, DQO, coliformes fecales y hierro en exceso. El gasto promedio para 1983 es de 16.4 L/s, el pH promedio 9.3, sólidos disueltos totales es de 4023 mg/L.

### 3.2.1.3 Descargas mixtas

Otra fuente de contaminación que debe considerarse, son las aguas de retorno agrícola del distrito de riego de San Juan, que llegan al río por el dren La Culebra, el cual vierte también residuos ganaderos e industriales. Es necesario realizar análisis químico a lo largo de este dren para obtener una buena caracterización de las aguas que transporta hacia el río.

Cuadro 3.2.1.2 Comparación de los parámetros que establecen las normas de algunas descargas presentes en el río San Juan.

Descarga	DBO (mg/L)		SST (mg/L)		GyA (mg/L)		N(NH <sub>3</sub> ) (mg/L)		pH	
	*	NOM	*	NOM	*	NOM	*	NOM	*	NOM
Papelera 1	252	150	152	150	24	30	-	-	7.1	6-9
Papelera 2	643	240	2053	240	36	50	-	-	7.5	
Textil	61	120	198	120	43	30	-	-	7.7	6-9
Lacteos	1928	120	993	120	275	30	-	-	7.8	6-9
Colector municipal	578		436		71.4		-	-	7.3	
Rastro Tequisquiapan	156	240	210	240	52	40	14.1	30	7.2	6-9

\* promedio de 3 muestreos durante 1988.

Fuente: (CNA, 1989)

### 3.2.2 Listado de las Causas de Contaminación más Importantes

Considerando las descripciones del punto anterior se enlistan por orden descendente de importancia las causas de contaminación del río San Juan.

- 1) Descarga de la planta de tratamiento de las aguas municipales de San Juan del Río, tomando en cuenta que también recibe aguas residuales industriales.
- 2) Giro de celulosa y papel (papelera 1)
- 3) Giro industrial textil
- 4) Industrias alimenticias
- 5) Fraccionamiento industrial
- 6) Dren La Culebra (lleva residuos agrícolas, ganaderos e industriales).
- 7) Descargas de la zona urbana de Tequisquiapan y su rastro.

## 3.3 PROPUESTA DE SANEAMIENTO DEL RIO SAN JUAN

### 3.3.1 Control de las fuentes de contaminación

En la primera fase para la restauración del río San Juan es importante el control de las descargas al río, tomando en cuenta las fuentes de contaminación mencionado en el punto 3.2.

Con base en las características de las fuentes de contaminación más importantes, se plantearán, de manera general, las acciones a llevar a cabo para tratar eficientemente las descargas de las aguas residuales, dado que no se tienen los datos de caracterización de los efluentes de dichas fuentes.

#### A. Descargas municipales

• Como se mencionó anteriormente, existen aguas residuales domésticas que descargan directamente al río San Juan. Por esta razón es necesario que se construya una red de alcantarillado y que el drenaje de las viviendas se conecte a ésta, tanto en San Juan del Río, Tequisquiapan, así como en los poblados aledaños al río.

\* Como las aguas municipales de San Juan del Río llevan también aguas residuales de diferente giros industriales (ver cuadro 3.2.1.1) y por ende contienen sustancias potencialmente peligrosas como son resinas, metales (cromo y plomo) y diferentes compuestos químicos, es necesario que cada una de estas industrias establezca sus residuos y cumpla con las condiciones de descarga a la alcantarilla, ya que la combinación de todos los afluentes industriales al drenaje y descargas de aguas residuales municipales trae consigo la baja eficiencia de la planta de tratamiento. Actualmente ésta planta no está en operación, ya que durante el recorrido que se realizó el mes de marzo de 1994 al área de estudio se observó los filtros rocedores vacíos y las conexiones oxidadas.

\* Se sugiere la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de San Juan del Río, para obtener información de la eficiencia que se puede lograr para la estabilización de los residuos y si se encuentra subdiseñada.

\* Por otra parte, los rastros aportan gran cantidad de DBO, la cual consume cantidades considerables de oxígeno disuelto y disminuyen el ICA; por tal motivo es necesario que instalen de sus plantas de tratamiento.

## B. Descargas industriales

Si se considera que en el municipio de San Juan las actividades industriales son las más importantes económicamente hablando y son las que contaminan en mayor proporción, ya que sus residuos son muy agresivos para el ambiente acuático, es por lo tanto indispensable lograr que sus descargas cumplan las Normas Oficiales Mexicanas.

### 1) Industria papelera No. 1

Debido a las características de las aguas residuales de esta empresa (altas concentraciones de DBO, SST, y G y A), causa gran desequilibrio en los cuerpos receptores por el tipo de proceso industrial.

\* La planta de tratamiento de esta industria está por ponerse en marcha.

\* Se espera que con esta planta de tratamiento se cumpla con la Ley de Aguas Nacionales y Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Se recomienda que la industria bajo la supervisión de la CNA de Querétaro realice una evaluación de dicha planta para determinar la eficiencia de remoción.

## 2) Industria textil

La figura 3.3.1, se observa el diagrama de flujo del pretratamiento que se lleva a cabo para la estabilización de los residuos de ésta industria. Este tratamiento no es suficiente para cumplir con la Norma Oficial Mexicana relacionada con este giro industrial, por consiguiente se debe hacer un muestreo para obtener una buena caracterización de las aguas residuales y poder así proponer el tratamiento más adecuado.

- Si se toma en cuenta las características del proceso de producción y las materias primas que se emplean como se mencionó en el punto 3.2.1.2, son necesarios una neutralización, un proceso fisicoquímico, ya que seguramente se encuentran compuestos no biodegradables, aunque no se puede especificar el tipo de proceso fisicoquímico debido a que no se tienen datos de la caracterización (Nemerow, 1991).

- Proceso biológico aerobio (lodos activados o filtros roceadores) para reducir la demanda bioquímica de oxígeno.

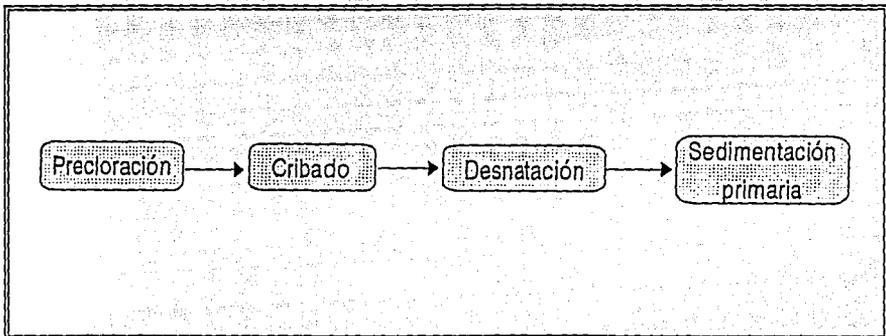


Figura 3.3.1 Diagrama de flujo del tren de pretratamiento para las aguas residuales de la industria textil.

### 3) Industria alimenticia

Las aguas residuales de la industria del maíz contienen gran concentración de materia orgánica, bajo potencial de hidrógeno, altas concentraciones de G y A, DBO, SST y DQO. Es necesario hacer una buena caracterización de sus aguas residuales. Sin embargo por su proceso de producción se puede sugerir los siguientes procesos de tratamiento:

- Sedimentador primario para separar las partículas que se pudiesen sedimentar.
- Desnatador, por el contenido de G y A, además de separar las fibras o cascarilla del maíz que se encuentren suspendidas.
- Tanque de igualación para neutralizar el potencial de hidrógeno.
- Proceso biológico aerobio; Nemerow (1991) propone para este giro industrial la digestión anaerobia dadas las altas concentraciones de DBO.
- Cloración para eliminar los microorganismos patógenos

### 4) Empresa No. 1

Es una empresa que se dedica a la fundición de acero; genera aguas residuales con alta conductividad eléctrica de 300 mhos/cm y 250 mg/L de sólidos disueltos totales. Por su proceso de producción se puede esperar que contengan altas concentraciones de metales, con base en esto se puede sugerir lo siguiente:

- Sedimentador primario
- Tratamiento fisicoquímico

### 5) Fraccionamiento industrial

Para poder proponer un diagrama de flujo adecuado para las aguas residuales del fraccionamiento es necesario realizar la caracterización de éstas, ya que son varios tipos de industrias que se encuentran en dicho parque industrial.

## 6) Dren La Culebra

Esta descarga es conveniente analizarla con más detalle, ya que contiene una mezcla de descargas de diferentes tipos (agrícola, agropecuaria e industrial). Con un estudio más detallado se podrán proponer alternativas de solución.

Sí y solo si se cumple con esta primera fase, se aumentará la capacidad de autopurificación del río, es necesario que en esta etapa se continúe con el monitoreo del río San Juan y de las presas (Centenario y Paso de Tablas), ya que dará indicio del avance que se ha logrado en la recuperación de las condiciones naturales del ecosistema.

### 3.3.2 Alternativas para la restauración del río San Juan

La segunda fase del saneamiento consiste en propiciar la eliminación de los contaminantes que se encuentran en el cuerpo acuático, que por muchos años se han acumulado en él. Sobre todo los nutrientes, metales pesados, plaguicidas, etc, son muy difíciles de extraer.

Después de que se controlen las fuentes de contaminación con los sistemas de tratamiento adecuado para cada tipo de efluentes.

Es necesario realizar estudios sobre el grado de azolvamiento del río, para evaluar la posibilidad de dragarlo y extraer los sedimentos que se encuentren en el fondo. Es necesario rectificar el río, esto es, quitar la basura y plantas que se encuentren en sus bordes y las represas que impiden la circulación del agua en forma libre; con esto se pretende aumentar la velocidad de flujo y por lo tanto el intercambio gaseoso con la atmósfera, incrementando así, la concentración del oxígeno disuelto y por lo tanto propiciar la capacidad de autopurificación del cuerpo de agua.

Dentro de la zona de estudio las presas Centenario y Paso de Tablas, presentan un proceso de eutroficación avanzado, dada la producción de lirio acuático; esto se debe a las grandes concentraciones de nutrientes que aportan las descargas, lo cual implica realizar el control de estos aportes. Es necesario que a las descargas se les dé un tratamiento adicional para reducir la concentración de nutrientes, (ver capítulo anterior); sin embargo, la concentración de fósforo que ya se encuentra en los embalses se debe reducir.

Se propone el control del lirio acuático por medios mecánicos, esto es, la extracción periódica de esta planta vascular, ya que ésta sirve como medio de eliminación de nutrientes en exceso y otros contaminantes, como son los metales en solución. Cuando ya no se viertan grandes concentraciones de nutrientes será cada vez menor la producción de la planta acuática hasta que ya no se reproduzca más.

La biomasa de la planta que se extraiga de los embalses se debe someter a un tratamiento adecuado, dependiendo de los contaminantes bioacumulados. Si el lirio contiene concentraciones altas de metales pesados sería conveniente que se incineren y las cenizas se dispongan en un relleno sanitario controlado.

El Cuadro 3.3.2 muestra los costos unitarios (NS/ha) de las diferentes alternativas de control considerando que la densidad de población del lirio acuático es de 40 kg/m<sup>2</sup>. El control mecánico tiene costos altos; el que se propone es la cosechadora con carbazas e incineración con un costo aproximado de (NS 12,314 - 24,783/ha), en comparación con el tratamiento químico, por ejemplo con Glifosfato (NS 1,197 - 2,629/ha)(IMTA-dhta,

1994), pero el inconveniente de este último tratamiento son sus implicaciones ambientales entre ellas la mineralización de los componentes que retornan al sistema acuático propiciando la producción del lirio o de otro tipo de macrofitas, así como la reducción de oxígeno debido a la degradación del material biológico (lirio muerto).

Si no hay problemas de metales pesados entonces se sugiere el composteo y utilizarlo como fertilizante natural para las tierras agrícolas.

**Cuadro 3.3.2 Comparación de Diferentes Alternativas del Control del lirio acuático**

	Area de Acción (% del total)	Eficiencia del Control	Restricciones de Uso	Implicaciones Ambientales	Costo Unitario N\$/ha
<b>Mecánico</b>					
Manual	Lirio marginal 10%	Muy lenta	Ninguna	Positiva Requiere transporte al sitio de disposición final	Alto 12,362
Cosechadora sin Barcazas	No lirio marginal 90%	Lenta	Ninguna	Positiva Requiere transporte al sitio de disposición final	Muy alto 18,185
Cosechadora con Barcazas	No lirio marginal 90%	Lenta	Ninguna	Positiva	Muy alto 16,429-28,890
Cosechadora con Barcazas e Incineración	No lirio marginal 90%	Lenta	Ninguna	Positiva en el lago Negativa a la atmósfera	Muy alto 12,314-24,783
Trituradora	No lirio marginal 90%	Media	Reducción de oxígeno disuelto	Acelera mineralización de materiales orgánicos e inorgánicos	Moderado 2,633
Biológico con <i>Neochelona eichhorniae</i>	Continuo 100%	Insuficiente por sí solo	Ninguna	Minimas	Desconocido

Fuente: IMTA-dhta, 1994

Continuación del cuadro 3.2.2...

	Area de Acción (% del total)	Eficiencia del Control	Restricciones de Uso	Implicaciones Ambientales	Costo Unitario N\$/ha
Químico					
Glifosato	Casi total 90%	Media	-Únicamente 0.8 km de obra de toma -Viento restringe su aplicación	Reducción temporal de oxígeno Mineralización de componentes Se requiere aplicación cuidadosa Riego de dispersión de error	Moderado 1,197-2,629
Diquat	No cerca de tomas agrícolas y agua potable 90%	Media-Alta	-14 días: irrigación, abrevadero y potable, de superficie aplicada -Viento restringe su aplicación	Reducción temporal de oxígeno Mineralización de componentes Se requiere aplicación cuidadosa Riego de dispersión de error	Moderado 888-2,319
2,4-D Amina	No cerca de tomas agrícolas y agua potable 90%	Muy Alta	-21 días: irrigación, abrevadero y potable, de superficie aplicada -Viento restringe su aplicación	Reducción temporal de oxígeno Mineralización de componentes Se requiere aplicación cuidadosa Riego de dispersión de error	Bajo 699-2,130

Fuente: IMTA-dhta, 1994

## IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- \* La metodología que se presenta proporciona los lineamientos básicos a las instancias gubernamentales relacionadas con el saneamiento de cuerpos acuáticos, como es la SEMARNYP a través del CNA, INE y PROFEPA; así como también el y/o los municipio(s) que tenga(n) jurisdicción en el área de estudio en cuestión y las empresas responsables de las descargas.
- \* La metodología está planteada en forma muy general debido a que cada ecosistema tiene su propia dinámica y las causas de contaminación pueden ser diferentes en cada caso.
- \* Se destaca la importancia de prevenir y reducir las causas de la contaminación en los cuerpos de agua, no sus efectos.
- \* Se determinó por medio del análisis de diferentes variables, que el agua del río San Juan está contaminada, no apta para la vida acuática, ya que los ICA (Índice de Calidad del Agua) fluctúan entre 20-50 y, por consiguiente, no puede sustentar a un ecosistema en equilibrio.
- \* La ubicación de las descargas de aguas residuales permitió conocer cuáles están contribuyendo en mayor grado al deterioro del cuerpo receptor.
- \* Se obtuvo el listado descendente de las aportaciones al río de acuerdo a sus características. Entre las más importantes se encuentra la industria papelera, textil, los rastos, descargas municipales y el dren La Culebra, en ese orden.
- \* Se proponen algunas alternativas para la reducción de la contaminación del río San Juan; se hace referencia al control de las fuentes de contaminación por parte de las industrias y de los municipios de San Juan del Río y Tequisquiapan, así como la supervisión de la Comisión Estatal de Agua del estado de Querétaro.

#### 4.2 Recomendaciones

- \* Se sugiere que se pruebe la metodología para otros cuerpos de agua, esto se debe realizar por las dependencias gubernamentales, ya que ellas cuentan con el poder de decisión y la información necesaria.
- \* Para realizar el paso anterior se recomienda contar con un grupo interdisciplinario, el cual pueda asesorar a las dependencias que realicen el plan de saneamiento del sistema acuático en cuestión.
- \* Se considera pertinente continuar emitiendo normas y observar su correcta aplicación que regulen las condiciones particulares de descarga, haciendo incapié en el control de nutrientes, sobre todo para efluentes que contengan altas concentraciones de materia orgánica.

## **APARTADO DE FOTOGRAFIAS**



Foto 1: Estación R-0 aguas de escurrimiento



Foto 2: Canal Lomo de Toro, aguas fluviales.



Foto 3: Descarga de la planta de tratamiento de San Juan del Rio, Oro.



Foto 4: Descarga A de la industria papelera No. 1 al Canal Lomo de Toro



Foto 5: Panorámica después de la Cortina de la Presa Centenario



Foto 6: Descarga B de la industria papelera No. 1 al Río San Juan.



Foto 7: Descarga C de la Industria 1a331.

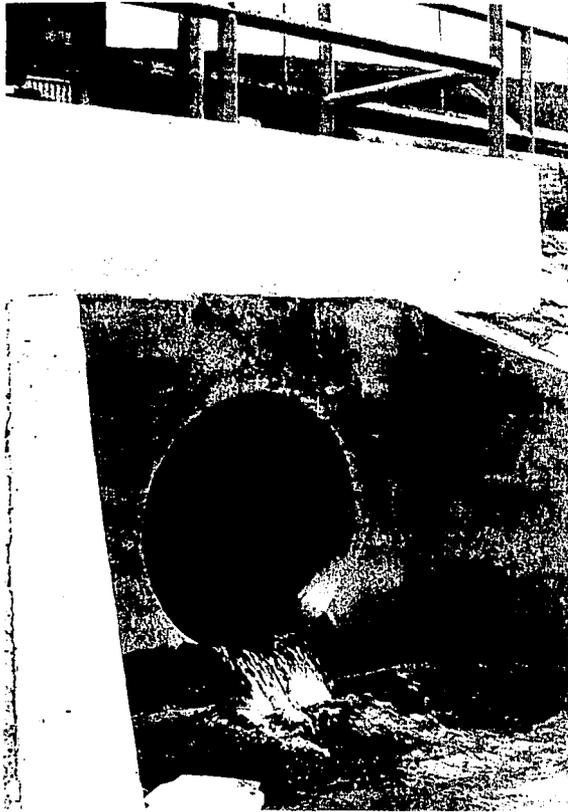


Foto 8: Descarga de la industria papelera No. 2  
al Río San Juan.

**APENDICE A**

**CUADRO DE CUERPOS RECEPTORES CONTAMINADOS POR  
FUENTES ANTROPOGENICAS EN ALGUNOS ESTADOS DE  
LA REPUBLICA MEXICANA**

### CONTAMINACION DE CUERPOS RECEPTORES

Cd. y estado	Sistema Acuático	Causas de Contaminación
Mazatlán, Sinaloa	Esteros del Infiernillo y Urias	Descargas industriales y residuales
Santa Catarina Querétaro	Presa Santa Catarina	Detergentes y cloro
Veracruz, Ver	Ríos Blanco y Papaloapan	Descargas industriales
Cd. Juárez, Chih	Río Bravo	Descargas industriales y BPC (500 ppm)
Hidalgo	Presa Mamithi	Textil y rastos
Tlaxcala	Presa Atlangatepec	Descargas industriales
Zihuatanejo	Bahía de Zihuatanejo	Descargas municipales
Cuernavaca	Lagunas de Tequesquitengo	Descargas Municipales
Agascalientes	Presas Niágara y Cedazo	Descargas municipales
Jalisco	Lago de Chapala	Descargas municipales
Jalisco	Río Santiago	Descargas industriales
Coahuila de Zaragoza, Ver.	Estero Monzapán	Descargas industriales
Veracruz, Ver	Río Cotaxtla	Petroquímica e industria azucarera
Colima	Laguna de Coyutlán	PEMEX
Morelos	Ríos Yautepec, Apatlaco y Cuautla	Descargas industriales
Culiacán, Sin	Río Culiacán	Descargas industriales
Salina Cruz, Oax.	Playa Salinas del Marqués	Petróleo

Fuente: Medios de difusión

## SANEAMIENTO

Estado	Sistema acuático	Causa	Sanidad
Querétaro, Qro	Presa y río Jalpan	Descargas municipales	Construcción de plantas de tratamiento
Naucalpan, Edo. México	Río Hondo	Descargas municipales	Desazolve, construcción de fosas sépticas y colectores marginales a lo largo de 5 Km
Guadalajara, Jalisco	Lago de Chapala	Descargas municipales	Utilizan herbicidas para combatir lirio
San Luis Potosi	Cuenca baja del río Panuco	Descargas municipales	Desinfección
Morelos	Barrancas de la zona	Descargas municipales	Drenaje y planta de tratamiento
Jalisco	Playas de Puerto Vallarta	Agroquímicos	Normatividad de la industria hotelera
Chiapas	Río Coatancito	Descargas municipales	Drenaje
Mexicali	Río Nuevo	Descargas municipales	Colector

Fuente: Medios de Difusión

**APENDICE B**  
**DEFINICIONES DE TIPOS DE CUERPOS DE AGUA**

## DEFINICIONES DE TIPOS DE CUERPOS DE AGUA

Se presentan las definiciones de los diferentes cuerpos de agua, basadas en la Ley de Aguas Nacionales y que se deben considerar al realizar el estudio sobre la evaluación del grado de contaminación del cuerpo receptor.

**Cauce de corriente:** El canal natural o artificial que tiene la capacidad necesaria para que las aguas de la creciente máxima ordinaria escurran sin derramarse. Cuando las corrientes estén sujetas a desbordamiento, se considera como cauce el canal natural, mientras no se construyan obras de encauzamiento.

**Lago en embalse:** Vaso continental de propiedad federal de formación natural que es alimentado por una corriente superficial, aguas subterráneas o fluviales, independientemente que dé o no origen a otra corriente, así como el vaso de formación artificial que se origina por la construcción de una presa.

**Cuerpos costeros:** Volumen de agua situado en la zona litoral y afectado por la acción de la marea, puede ser:

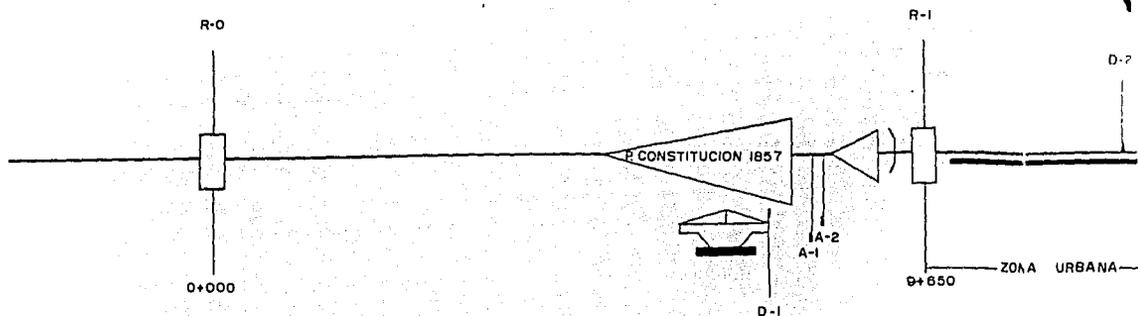
- \* Laguna o estero, en caso de ser depósito
- \* Estuario, comprende la porción final de una corriente interior en su desembocadura al mar.
- \* Mar abierto, resto del cuerpo costero, propiamente el océano.

**Humedales:** Son las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y los terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de la marea, como son los pantanos, cienagas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas donde el suelo es generalmente hídrico, las áreas lacustres o de suelos húmedos, originadas por las descargas naturales del acuífero.

**Acuífero:** Cualquier formación geológica, por la cual circulan o se alimentan aguas subterráneas que se pueden extraer para su aprovechamiento.

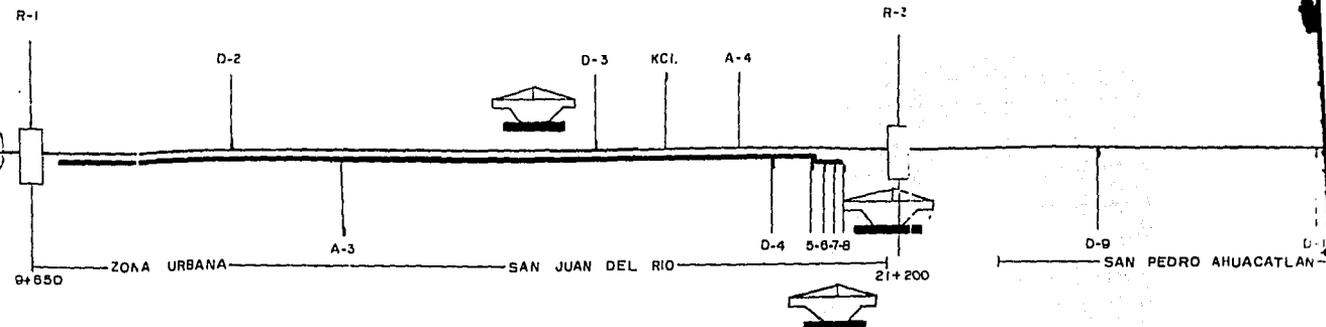
## **APENDICE C**

### **PERFIL DEL RIO SAN JUAN Y UBICACION DE LAS DESCARGAS QUE RECIBE EN EL AREA DE ESTUDIO**



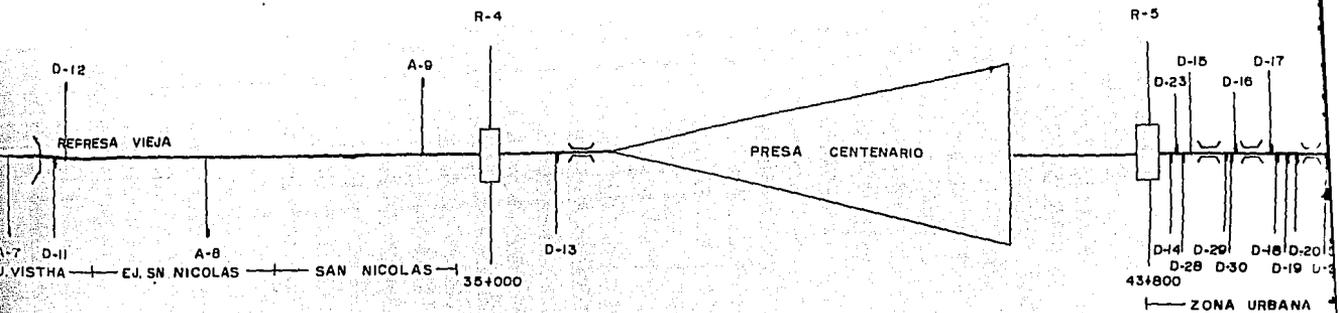
### ESTACIONES DE MONITOREO

Estación	Localización
R-0	9600 metros aguas arriba del puente de la autopista México-Querétaro
R-1	500 metros aguas arriba del puente de la autopista México-Querétaro
R-3	800 metros aguas abajo de la descarga de la planta de tratamiento de San Juan del Río
R-4	50 metros aguas abajo del puente de la carretera San Juan del Río- Tequisquiapan
R-5	200 metros aguas abajo de la cortina de la presa Centenario
R-6	1500 metros aguas abajo del puente de la carretera a Tecozautla, Hgo
R-7	100 metros de la cortina de la presa Paso de Tablas

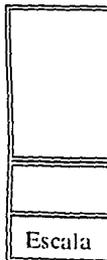


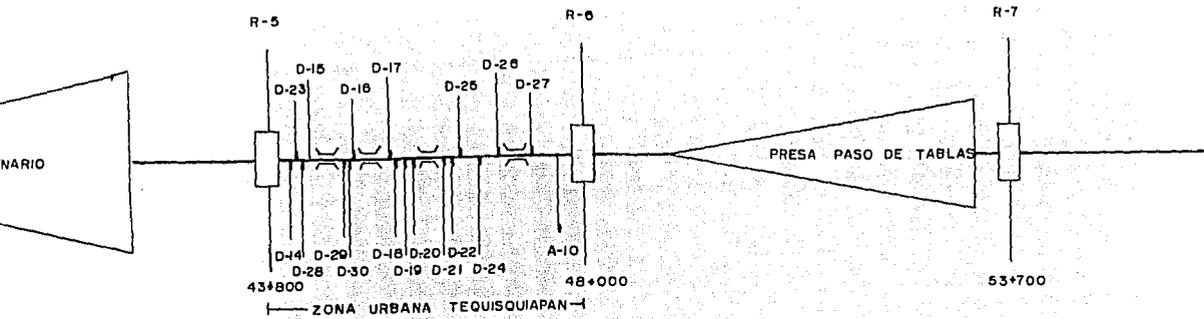
### DESCARGAS

Clave	Nombre	Gasto L/seg
D-1	Industria Papelera 1	170
D-2	Industria de lacteos y derivados	4
D-3	Industria Textil 1	150
D-4	Colector municipal	30
D-5	Rastro municipal	15
D-6	Industria Química	0.4
D-7	Industria Papelera 2	47.5
D-8	Planta de tratamiento municipal	145
D-9	Mpal. de San Pedro Ahuacatlán	13
D-10	Mpal. de San Pedro Ahuacatlán	2
D-11	CERESO	0.3
D-12	Dren la culebra	20
D-13	Mpal. San Nicolas	0.5
D-14	Barrio de San Juan	0.4
D-15	Puente de Fierro	0.3
D-16	Manantiales del Prado	0.3
D-17	Los clautros	0.1
D-18	Rinconada Jacarandas	2



Clave	Nombre	Gasto L/seg.
D-19	Barrio de la Magdalena	4.5
D-20	Barrio de la Magdalena	2.5
D-21	Los Sabinos	2
D-22	Barrio de la Magdalena	2
D-23	Descarga domiciliaria	0.2
D-24	Rastro Tequisquiapan	-
D-25	Descarga la pila	6
D-26	Descarga principal	20
D-27	Club de Golf	18
D-28	Hotel Restaurant	0.4
D-29	Descarga Municipal	1.5
D-30	Descarga domiciliaria	0.2





COMISION NACIONAL DEL AGUA	
GERENCIA ESTATAL	
SUBGERENCIA DE ADMINISTRACION DEL AGUA	
<b>PERFIL DEL RIO SAN JUAN</b>	
Escala 1:75,000	Fuente: CNA. 1992

FALLA DE ORIGEN

**APENDICE D**  
**CALCULO DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA**

## CÁLCULO DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)

El Índice de Calidad del agua (ICA) proporciona información acerca del grado de contaminación de un cuerpo de agua; su cálculo se basa en análisis de las características físicas y químicas del sistema acuático y del peso unitario pre-establecido, en este valor se toma en cuenta la importancia que tienen dichos parámetros dentro del ecosistema.

Se calcula el Índice (I<sub>i</sub>) para cada parámetro con las ecuaciones que se presentan en la siguiente lista. Con la ecuación que a continuación se presenta, se obtiene el Índice de Calidad por Parámetro (ICA<sub>i</sub>):

$$ICA_i = \frac{(I_i) (W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

En donde:

W<sub>i</sub> = Peso unitario por parámetro

I<sub>i</sub> = Índice de calidad por parámetro

La sumatoria del ICA<sub>i</sub> proporciona el Índice de Calidad del Agua para la estación en la fecha del muestreo (Cuadro 1), de esta forma que se obtiene un ICA por cada estación y muestreo.

Posteriormente se obtuvieron promedios del ICA por año de cada estación.

Por ejemplo en el Apartado 1 se muestran los parámetros que se determinaron en las estaciones de monitoreo en el mes de noviembre de 1993 y el peso unitario.

ECUACIONES PARA ESTIMAR EL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA \*

$I_{OD} = \frac{(100) OD}{14.492 - 0.384 T + 0.064 T^2}$	OXIGENO DISUELTO
$I_{DBO5} = 120 (DBO_5)^{-0.673}$	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO
$I_{COLI} = 97.5 (COLI. TOT.)^{-0.27}$	COLIFORMES TOTALES
$I_{CE} = 540 (C.E.)^{-0.379}$	CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA
$I_D = 10^{1.974 - 0.00174 D}$	DUREZA TOTAL
$I_{pH} = 0 \text{ a } 7 = 10^{0.2336pH + 0.44}$	POTENCIAL DE HIDROGENO
$I_{pH} = 7.1 \text{ a } 7.59 = 100$	POTENCIAL DE HIDROGENO
$I_{pH} = 7.6 \text{ a } 14 = 10^{4.22 - 0.293 pH}$	POTENCIAL DE HIDROGENO
$I_{G-A} = 87.25 (G-A)^{-0.298}$	GRASAS Y ACEITES
$I_{PO4} = 34.215 (PO_4)^{-0.46}$	FOSFATOS
$I_C = 123 (C)^{-0.295}$	COLOR ( Co-Pt )
$I_{TURB} = 108 (TURB)^{-0.178}$	TURBIEDAD (UTJ ó HELLIGE)

\* Fuente: CNA, 1989

## APARTADO 1

En los siguientes cuadros se presentan los resultados del Índice de Calidad del Agua ( $W_i$  es de tablas), para cada estación de monitoreo en el mes de noviembre, como un ejemplo del manejo de los parámetros fisicoquímicos.

FECHA: Nov-1993		Temperatura 15°C		ESTACION: R-0	
PARAMETRO	CONCENTRACION	$W_i$	$W_i$	I.C.A.I	
O.D (mg/L)	0.01	0.09	5.00	0.02	
D.B.O (mg/l)	1.95	76.56	5.00	19.63	
Conductividad (micromhos/cm)	102	93.57	1.00	4.8	
Dureza Total (mg/L)	120	58.24	1.00	2.99	
G y A (mg/L)	4.9	54.34	2.00	5.57	
Fosfatos (mg/L)	(No se muestreo)	-	2.00	-	
Turbiedad (HELLIGE)	46	54.63	0.50	1.4	
Coliformes Totales (NMP X 100 ml)	240000	3.44	3.00	0.53	
pH	7.2	100	1.00	5.13	
Color (Co-Pt)	250	24.13	1.00	1.24	
Total			21.50	41.31	

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

FECHA: Nov-1993		Temperatura 16°C		ESTACION: R-1	
PARAMETRO	CONCENTRACION	li	Wi	I.C.Ai	
O.D (mg/L)	0.1	1	5.00	0.26	
D.B.O (mg/l)	8.58	28.25	5.00	7.24	
Conductividad (micromhos/cm)	354	58.4	1.00	3	
Dureza Total (mg/L)	80	68.36	1.00	3.51	
G y A (mg/L)	73	24.3	2.00	2.5	
Fosfatos (mg/L)	(No se muestreo)	-	2.00	-	
Turbiedad (HELLIGE)	40	56	0.50	1.44	
Coliformes Totales (NMP X 100 ml)	240000	3.44	3.00	0.53	
pH	7.2	100	1.00	5.13	
Color (Co-Pt)	100	31.62	1.00	1.62	
Total			21.50	25.21	

FECHA: Nov-1993		Temperatura 21°C		ESTACION: R-3	
PARAMETRO	CONCENTRACION	li	Wi	I.C.Ai	
O.D (mg/L)	0.1	1.1	5.00	0.25	
D.B.O (mg/l)	270.6	2.77	5.00	0.64	
Conductividad (micromhos/cm)	1758	31.81	1.00	1.48	
Dureza Total (mg/L)	200	42.27	1.00	1.97	
G y A (mg/L)	38.7	29.35	2.00	2.73	
Fosfatos (mg/L)	4.7	16.8	2.00	1.56	
Turbiedad (HELLIGE)	150	44.27	0.50	1.03	
Coliformes Totales (NMP X 100 ml)	240000000	0.53	3.00	0.07	
pH	6	69.43	1.00	3.23	
Color (Co-Pt)	200	25.77	1.00	1.2	
Total			21.50	14.16	

FECHA: Nov-1993		Temperatura 19°C		ESTACION: R-4	
PARAMETRO	CONCENTRACION	li	Wi	I.C.Ai	
O.D (mg/L)	0.1	1.05	5.00	0.24	
D.B.O (mg/l)	76.9	6.46	5.00	1.5	
Conductividad (micromhos/cm)	1762	31.78	1.00	1.48	
Dureza Total (mg/L)	20028.9	42.27	1.00	1.97	
G y A (mg/L)	4.18	32	2.00	2.98	
Fosfatos (mg/L)	51	17.72	2.00	1.65	
Turbiedad (HELLIGE)	24000000	53.64	0.50	1.25	
Coliformes Totales (NMP X 100 ml)	7	0.99	3.00	0.14	
pH	170	100	1.00	4.65	
Color (Co-Pt)		27.07	1.00	1.26	
Total			21.50	17.11	

FECHA: Nov-1993		Temperatura 18°C		ESTACION: R-5	
PARAMETRO	CONCENTRACION	li	Wi	I.C.Ai	
O.D (mg/L)	0.1	1.04	5.00	0.24	
D.B.O (mg/l)	7.03	32.31	5.00	7.51	
Conductividad (micromhos/cm)	1185	36.94	1.00	1.72	
Dureza Total (mg/L)	150	51.64	1.00	2.4	
G y A (mg/L)	66.8	24.94	2.00	2.32	
Fosfatos (mg/L)	1.66	27.10	2.00	2.52	
Turbiedad (HELLIGE)	1	108	0.50	2.51	
Coliformes Totales (NMP X 100 ml)	240000	3.44	3.00	0.48	
pH	6	60.43	1.00	3.23	
Color (Co-Pt)	250	24.13	1.00	1.12	
Total			21.50	24.06	

FECHA: Nov-1993		Temperatura 18°C		ESTACION: R-6	
PARAMETRO	CONCENTRACION	Ii	Wi	I.C.Aj	
O.D (mg/L)	0.1	1.04	5.00	0.24	
D.B.O (mg/l)	6.25	34.97	5.00	8.13	
Conductividad (micromhos/cm)	1054	38.61	1.00	1.8	
Dureza Total (mg/L)	130	55.95	1.00	2.6	
G y A (mg/L)	20.40	35.52	2.00	3.3	
Fosfatos (mg/L)	3.01	20.61	2.00	1.92	
Turbiedad (HELLIGE)	1	108	0.50	2.51	
Coliformes Totales (NMP X 100 ml)	240000	3.44	3.00	0.48	
pH	7	100	1.00	4.65	
Color (Co-Pt)	50	38.79	1.00	1.8	
Total			21.50	27.44	

FECHA: Nov-1993		Temperatura 19°C		ESTACION: R-7	
PARAMETRO	CONCENTRACION	Ii	Wi	I.C.Aj	
O.D (mg/L)	0.3	3.2	5.00	0.74	
D.B.O (mg/l)	45.67	9.17	5.00	2.13	
Conductividad (micromhos/cm)	1022	39.07	1.00	1.82	
Dureza Total (mg/L)	145	52.69	1.00	2.45	
G y A (mg/L)	113.2	31.32	2.00	1.98	
Fosfatos (mg/L)	2.84	21.17	2.00	1.97	
Turbiedad (HELLIGE)	14	67.52	0.50	1.57	
Coliformes Totales (NMP X 100 ml)	150000	3.9	3.00	0.54	
pH	7	100	1.00	4.65	
Color (Co-Pt)	100	31.62	1.00	1.47	
Total			21.50	19.33	

## **APENDICE E**

### **ENCUESTA PARA LOS PESCADORES DE LAS PRESAS CENTENARIO Y PASO DE TABLAS**

## ENCUESTA PARA LOS PESCADORES

- 1 ¿Qué especies de peces comerciales están presentes en la Presa Centenario?
- 2 ¿Cuál de las especies es más abundante y de cuál hay menos?
- 3 ¿Desde cuando se tiene registro de producción pesquera?
- 4 ¿Ha disminuido la producción? ¿Desde cuando?
- 5 ¿Desde cuando se ha detectado la muerte de peces?
- 6 ¿Que tipo de pez muere en mayor cantidad?
- 7 ¿En que meses aumenta la mortandad?
- 8 ¿Los peces tienen algún olor "raro"?
- 9 ¿Los peces han disminuido de tamaño?
- 10 ¿Cuál es la especie más importante para la cooperativa?
- 11 ¿De que tamaño es la luz de malla que utilizan para pescar?
- 12 ¿Desde cuando la Presa adquirió el color "negro"?
- 13 ¿Se puede contar con el apoyo de los pescadores?
- 14 ¿Qué otros cambios han observado en el cuerpo receptor?

Nota: La encuesta se aplicó verbalmente y en grupo (lo componen 12 personas), ya que algunos de los pescadores no saben leer ni escribir.

## LISTA DE ABREVIACIONES

CNA	Comisión Nacional del Agua
Cr	Cromo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
G y A	Grasas y Aceites
Hg	Mercurio
ICA	Índice de Calidad del Agua
LPS	Litros por Segundo
OD	Oxígeno Disuelto
pH	Potencial de Hidrógeno
Pb	Plomo
SDT	Sólidos Disueltos Totales
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
SEDUE	Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología
SST	Sólidos Suspendidos Totales
{g DBO/SPP·día}	Demanda bioquímica de oxígeno por un cerdo de peso promedio (población porcina en pie) por día

## BIBLIOGRAFIA

Bathemont Jacques, 1980., "Geografía de la utilización de las aguas continentales". Oikostan,S.A. Ediciones, Barcelona, España.

Boletín hidrológico No.44 Tomo 1, Estación San Juan del Río período 36 años. Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1972.

C.N.A.,1993.,"Programa de saneamiento de cuencas". Subdirección General de Administración del Agua, Gerencia de calidad , Reuso del agua e impacto ambiental, Subgerencia de saneamiento de cuencas y reuso.

-----,1993.,"Programa de saneamiento y uso eficiente del agua en la cuenca Lerma Chapala. Subdirección General de Administración del Agua, Gerencia de calidad, Reuso del agua e impacto ambiental, Subgerencia de saneamiento de cuencas y reuso.

Comisión Nacional del Agua, 1992. Ley de Aguas Nacionales, SARH, México D.F.

Committee on Restoration of Aquatic Ecosystems., 1992., "Restoration of Aquatic Ecosystems". Science, Technology, and Public Policy, National Academy Press, Washington. D.C.

Consejo Mexicano de Porcicultura (CMPac), 1993. Anexo Técnico, Convenio de Concertación. S.R. México D.F.

Domínguez Mariani.,1991.,"Estudio hidrogeológico preliminar de la zona de San Juan del Río - Tequisquiapan, Querétaro". Tesis-Ingeniero Geólogo, Facultad de Ingeniería, UNAM.

E. Epstein and J.E. Alpert.,1980 en "Toxic and Hazardous Waste Disposal, Edit, Pojase K. Robert, vol. IV. Ann Arbor Science Publishers. U.S.A.

Flores, 1994., Comunicación verbal.

Gutiérrez J., 1980., "Estudio Agrológico Detallado del Distrito # 023, San Juan del Río, Querétaro". Informe Técnico. Residencia Regional de Agrológica en Querétaro, Qro. SARH.

Hernández. V. R., 1994. "Tratamiento Anaerobio de Efluentes de la Industria de Celulosa Kraft y Evaluación de su Toxicidad antes y después de la Aplicación del Tratamiento mediante Bioensayos con *Daphnia magna* (Crustacea; cladocera)" Tesis-Maestro en Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM.

IMTA-dhta., 1994., "Programa de Control de Malezas Acuáticas en el lago de Chapala Jal". Informe Técnico. Comisión Nacional del Agua.

Instituto Nacional de la Pesca. Informe Técnico Julio 1992. Secretaría de Pesca . México. D.F.

Jenkins D. and Slawonir W.,1991 en Phosphorus and Nitrogen. Removal from Municipal Wastewater (principles and practice pp 141-153). Editado por Richard I, Sedlak, Lewis Publishers, New York.

Martínez G, 1993., "Aspectos Generales del Proceso de Eutroficación". Tesis Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería UNAM. México D.F.

Mason C. F, 1984., "Biología de la contaminación del agua dulce". Editorial Alhambra, España.

Nemerow N, 1991., "Industrial and Hazardous Waste Treatment". Van Nostrand Reinhold. New York. U.S.A.

Reilly C., *et al.*, 1980., "Metal Contamination of Food", Applied Science Publishers LTD, London. England.

Salazar V. S., 1991, "Contaminación Marina". Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Fondo de Publicaciones y Ediciones, Gobierno de Quintana Roo.

Secretaría de Desarrollo Social., "Normas Oficiales Mexicanas en Materias de Protección Ambiental" Diario oficial de la federación del 18 de octubre de 1993.

Sinopsis Geohidrológica del Estado de Querétaro. SARH 1988.

Síntesis Geográfica, Nomenclatura y Anexos Cartográficos del Estado de Querétaro, Instituto Nacional de Geografía e Informática. UNAM, México D.F.

Stensel, David, 1991 en Phosphorus and Nitrogen. "Removal from Municipal Wastewater" (principles and practice pp 141-153). Editado por Richard I, Sedlak, Lewis Publishers, New York.

Unidad de Calidad del Agua, 1988. "Estudio preliminar para la evaluación de la calidad del agua del Río San Juan Querétaro". CNA, Gerencia en el Estado de Querétaro, Subgerencia de Administración del Agua.

Unidad de Calidad del Agua, 1989. "Evaluación de la calidad del agua Río San Juan durante 1988". CNA, Gerencia en el Estado de Querétaro, Subgerencia de Administración del Agua.

Vollenweider R.A., 1969. Scientific "Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters, With Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors in Eutrophication". OCDE, Directorate for Scientific Affairs, París.

Water Pollution Control Federation, 1983. "Nutrient Control Manual of Practice" FD-7 Facilities Design., Washington D.C.