



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO  
SANITARIO-AMBIENTAL DE PRESAS.**

**CASO: PRESA “EL CENTENARIO”, QRO.**

**T E S I S**

**QUE PRESENTA PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

***I N G E N I E R A C I V I L***

**FABIOLA RODILES AMARO**

**DIRECTOR DE TESIS:  
ING. ALBA B. VÁZQUEZ GONZÁLEZ**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/103/00

Señorita  
**FABIOLA RODILES AMARO**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. ALBA B. VAZQUEZ GONZALEZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"METODOLOGIA PARA EL ESTUDIO SANITARIO-AMBIENTAL DE PRESAS"**  
Caso: Presa "El Centenario", Qro.

- INTRODUCCION**
- I. ANTECEDENTES**
  - II. EVALUACION SANITARIO-AMBIENTAL EN PRESAS CON CRITERIOS DE CUENCA Y RIESGO.**
  - III. CASO: PRESA EL CENTENARIO. CUENCA DEL RIO JUAN, QRO.**
  - IV. ALTERACION DE LOS FACTORES SANITARIO-AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO SAN JUAN, QRO.**
  - V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria a 20 de enero de 2000.

EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO

*A mis tíos*

**Antonio A. Romero Méndez, Cándida Amaro Romero,  
Celestino Amaro Romero y Ma. de Lourdes Corona A.**

*Que siempre me han dado su atención y cariño*

*A mis amigos*

**Francisco de la Fuente, Leidy Guzmán, Renata Pérez,  
G. Alfredo Huescas, Victor Castillo y José Canseco**

*Con quienes he compartido agradables momentos  
y a los que siempre recordaré*

*A mis compañeros del Consultivo Técnico*

**Martha Adriana Vázquez, Fernando Trujillo,  
Israel García y Fernando Aguilar**

*Quienes me han brindado su ayuda y amistad*

# *Agradecimientos*



*A la Universidad Nacional Autónoma de México*

*A la Facultad de Ingeniería*

*Al Consultivo Técnico de la Comisión Nacional del Agua por las facilidades y el apoyo técnico que recibí para la elaboración de éste trabajo, de manera muy especial a los Ingenieros:*

*Humberto Romero Alvarez y  
Jesús García Ollervides*

*por su ayuda y valiosa asesoría.*

*A la Ing. Alba B. Vázquez González por haber dedicado tiempo e interés en la dirección de este trabajo.*

**METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO  
SANITARIO-AMBIENTAL DE PRESAS.**

**CASO: PRESA “EL CENTENARIO”, QRO.**

**INDICE**

INTRODUCCIÓN .....	1
1. ANTECEDENTES .....	3
1.1 Alcances y definiciones .....	3
1.2 Legislación ambiental .....	4
1.3 Sistema de control y vigilancia .....	15
1.4 Metodología para la evaluación de factores ambientales .....	16
1.5 Enfermedades relacionadas con el agua .....	27
2. EVALUACIÓN SANITARIO-AMBIENTAL EN PRESAS CON CRITERIOS DE CUENCA Y RIESGO .....	30
2.1 Definiciones y objetivos .....	30
2.2 Recopilación de información (campo y gabinete) .....	33
2.3 Interpretación y análisis .....	39
2.4 Intervenciones .....	45
3. CASO: PRESA EL CENTENARIO. CUENCA DEL RIO SAN JUAN, QRO. ....	46
3.1 Características generales .....	46
3.1.1 Aspectos físicos .....	48
3.1.2 Aspectos económicos y sociales .....	57
3.2 Características sanitario-ambientales .....	59
4. ALTERACIÓN DE LOS FACTORES SANITARIO-AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO SAN JUAN, QRO. ....	66
4.1 Valoración de los parámetros e índices .....	66
4.1.1 Agua .....	66
4.1.2 Suelo .....	74
4.1.3 Aspecto Social .....	75
4.1.4 Salud .....	76
4.2 Identificación de causas y efectos .....	78
4.3 Índice de riesgo .....	92
4.4 Interpretación. Análisis de riesgos .....	97

**METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO  
SANITARIO-AMBIENTAL DE PRESAS.**

**CASO: PRESA "EL CENTENARIO", QRO.**

**INDICE**

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	99
5.1 Conclusiones .....	99
5.2 Recomendaciones .....	101
 BIBLIOGRAFÍA .....	 104

---

## INTRODUCCIÓN

---

El agua, importante recurso natural, es un elemento básico para la sustentación de la vida y el desarrollo de las actividades humanas, las que están determinadas por la abundancia o escasez de éste recurso y, de manera importante, por su adecuada distribución, uso y conservación.

Actualmente, más del 85% de la población del país cuenta con servicio de agua potable. Sin embargo, más de 13 millones de mexicanos carecen de agua potable entubada, cerca de 26 millones no cuentan con servicio de alcantarillado y el 79% de las aguas residuales que se generan en los sistemas municipales no reciben tratamiento o si lo tienen en muchos casos no es el adecuado.

El problema no solamente es la escasez de éste elemento debido a su distribución geográfica, por otra parte su aprovechamiento cada vez se ve más limitado por sus altos niveles de contaminación. El desarrollo de las industrias y la concentración urbana, así como las actividades agrícolas generan residuos que son vertidos a los ríos, lagos y océanos teniendo como consecuencia su contaminación. Es por ello, que el consumo de aguas superficiales o subterráneas contaminadas tiene repercusiones graves sobre la salud de los seres humanos. Por ejemplo, en los países en desarrollo, 80% de las dolencias y 33% de las muertes ocurren por deficiencias en el agua potable, 65% de los internamientos de los hospitales y 80% de las consultas médicas se deben a enfermedades relacionadas con la falta o inadecuada calidad del agua y del saneamiento.

Aunado a esto, el acelerado incremento poblacional de las ciudades ha creado problemas cada vez más complejos en los organismos operadores cuyos recursos y capacidades han estado decreciendo generando deficiencias en el manejo del agua y de la infraestructura hidráulica; en el diseño y operación de las plantas potabilizadoras y de tratamiento de aguas residuales, de igual forma en la operación de los sistemas para la distribución, desalojo, tratamiento y reúso del agua.

El aprovechamiento de los recursos hidráulicos es de vital importancia para el sostenimiento de las actividades humanas. En este ámbito, las presas de almacenamiento cumplen una función especial, siendo utilizadas como fuentes de suministro de agua potable, generación de energía eléctrica y riego agrícola.

No obstante, la construcción y operación de una presa siempre genera alteraciones en su entorno y puede llegar a provocar efectos negativos en la salud y en la adaptación de los ecosistemas, si no se aplican las medidas necesarias para evitar o mitigar el problema.

En cuanto al suministro de agua potable, las obras de abastecimiento pueden presentar graves alteraciones por la inadecuada explotación del agua, generando afectación en las cuencas, incremento en los costos de la explotación del recurso y abatimiento de los mantos freáticos.

Respecto a la operación de las obras de irrigación y drenaje de terrenos, la calidad de los cuerpos de agua es muy susceptible a la contaminación; las aguas de retorno agrícola son vertidas conteniendo altas concentraciones de sales y agroquímicos, afectando la dinámica del ecosistema acuático.



Por otra parte, las deficiencias en las obras de alcantarillado tanto en calidad como en cobertura y el escaso o nulo tratamiento de las aguas residuales, producen efectos negativos, deteriorando la calidad de los cuerpos receptores, y en consecuencia, ocasionando desequilibrios en las comunidades acuáticas y terrestres que dependen del agua.

Los efectos adversos que no son previstos en el desarrollo de este tipo de proyectos, ponen de manifiesto la necesidad de llevar a cabo estudios ambientales, en los cuales se determine la influencia de las obras de uso y manejo del agua sobre el medio ambiente; así como sus consecuencias, riesgos y medidas necesarias para mitigar los impactos negativos.

Como ejemplo, tenemos a la presa “El Centenario” en Querétaro, utilizada inicialmente para la generación de energía eléctrica, y posteriormente para el riego agrícola. Sin embargo, actualmente esta obra representa un riesgo potencial para las poblaciones cercanas, en especial para la ciudad de Tequisquiapan, debido a que gran parte del agua almacenada proviene de descargas municipales e industriales de San Juan del Río, causando alteraciones en la calidad del agua del embalse y afectando a las especies acuáticas que se desarrollan en ese lugar, además de limitar o condicionar el uso del agua.

El estudio de los riesgos sanitario-ambientales en una presa va más allá de la parte relacionada con su estructura y de los daños que con mayor frecuencia se presentan en la cortina de la presa, pues el agua, por una parte puede causar graves alteraciones (por su cantidad) bajo ciertas circunstancias, mientras que por otro lado, es muy susceptible a ser deteriorada (en su calidad) por agentes contaminantes durante su paso por la cuenca tributaria, el embalse y la zona de aprovechamiento aguas abajo.

El cuidado y protección de los cuerpos de agua debe ser una tarea en la que es necesaria la participación y coordinación conjunta tanto de los ciudadanos involucrados como de las instituciones gubernamentales, basándose en la información ya existente y en los programas o proyectos que se plantean para su mejor aprovechamiento y cuidado.

El presente estudio tiene como propósito identificar y cuantificar los impactos más relevantes desde el punto de vista sanitario-ambiental de la cuenca y embalse de una presa, a través de una metodología simplificada en la que se puede evaluar en forma rápida su situación ambiental; es así que en los capítulos I y II se concentra la base teórica que respalda a la metodología propuesta. Posteriormente en el capítulo III se presenta una descripción de la presa El Centenario (ejemplo de aplicación) dentro de un contexto sanitario-ambiental, para después continuar con la valoración de los parámetros e índices que se muestran en el capítulo IV, los cuales permitirán conformar un diagnóstico de su situación actual.

Por otra parte, con base en los resultados del análisis, se prevén los impactos y se estiman los riesgos y daños asociados a la alteración de la calidad ambiental; finalmente en el capítulo V, se proponen las alternativas y medidas de control necesarias para el mejoramiento y conservación de tan vital recurso: **el agua**.

---

## CAPITULO 1 ANTECEDENTES

---

### 1.1 Alcances y Definiciones

Los alcances que se pretenden cubrir con el desarrollo de este trabajo se pueden resumir de la siguiente manera:

Dado que una evaluación de impacto ambiental, es un documento formal que exige la consideración detallada de numerosos aspectos y la participación conjunta de diversas disciplinas e instituciones; la metodología que aquí se plantea representa una propuesta de análisis simplificada y práctica para la identificación y valoración de los riesgos ambientales en las presas.

El proceso que a continuación se propone, es desarrollado con la finalidad de contar con información útil que pueda servir como antecedente para posteriores estudios más detallados, proyectos o programas de planeación.

Con los resultados de este estudio se establecen las prioridades a realizar y se determina si es necesaria la intervención de personal especializado en caso de que se hayan presentado graves alteraciones.

Esta metodología, también forma parte del sistema de control y vigilancia sanitario-ambiental que se debe establecer en las presas, principalmente en aquellas destinadas al abastecimiento de agua potable y al riego agrícola por tener más contacto con el ser humano, además del riesgo que estas representan cuando el agua no cumple con las características adecuadas para su utilización, provocando daños directos o indirectos a sus consumidores y al ambiente.

Dado que se trata de un método que contiene los lineamientos básicos para realizar una evaluación sanitario-ambiental en una presa, se pueden hacer los ajustes necesarios para aplicarse de acuerdo al tamaño y usos del agua del embalse, en este sentido cobran mayor importancia aquellas destinadas al abastecimiento de agua potable por representar un riesgo potencial para la salud de los consumidores en caso de que ésta se encuentre contaminada.

Como base conceptual para la realización del presente trabajo, a continuación se presentan algunos de los principales conceptos relativos a la evaluación ambiental, tomados de la literatura relacionada con el tema y de la legislación correspondiente:

**Impacto Ambiental.** Este término se puede definir como todo efecto benéfico o desfavorable que se presente en el conjunto de factores naturales, económicos, sociales, y culturales en un lugar y tiempo específicos.

Por su definición, resulta ser un tema complejo para su estudio, ya que para su análisis se hace necesario contar con un grupo interdisciplinario en el que intervienen ingenieros, geógrafos, biólogos, economistas y sociólogos, entre otros, que trabajen de manera conjunta y sistemática.

**Desarrollo Sustentable.** Forma de desarrollo en el cual se garantiza la satisfacción de las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias.

**Ambiente.** Conjunto de elementos naturales, artificiales o inducidos por el hombre, físicos, químicos y biológicos que propician la existencia, la transformación y el desarrollo de organismos vivos.

**Ecología.** Del griego oikos, que significa casa o lugar donde se vive, es el estudio de los organismos con su ambiente. Para su estudio es necesario conocer los siguientes conceptos:

Al grupo de individuos de una especie de organismos se le conoce como **población** y las poblaciones que habitan en una misma área conforman una **comunidad**. A su vez la comunidad y el medio geofísico en el que se desarrolla se denomina **ecosistema**. El conjunto de todos los ecosistemas forman la **ecosfera o biosfera**.

**Evaluación de Impacto Ambiental.** Instrumento de planeación que permite predecir, atenuar o en su caso evitar el deterioro de los ecosistemas que conlleva la realización de obras o actividades de carácter público o privado.

**Desequilibrio Ecológico.** Alteración de las relaciones de interdependencia entre los elementos naturales que conforman el ambiente, que afecta negativamente la existencia, transformación y desarrollo del hombre y demás seres vivos.

**Contaminación.** Es la acumulación de materia o energía debida a un desequilibrio entre la velocidad de entrada de materia y/o energía y su velocidad de transformación o salida.

**Contaminante.** Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.

**Daño Ambiental.** Es el que ocurre sobre algún elemento ambiental a consecuencia de un impacto ambiental adverso.

**Informe Preventivo.** Documento mediante el cual se dan a conocer los datos generales de una obra o actividad para efectos de determinar si se encuentra en los supuestos señalados por el artículo 31 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente o requiere ser evaluada a través de una manifestación de impacto ambiental.

**Manifestación de Impacto Ambiental.** Documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo.

## 1.2 Legislación Ambiental

La legislación ambiental es un instrumento necesario para la formulación y ejecución de las políticas ambientales por parte del Estado y de la sociedad en su conjunto, con el fin de disminuir el deterioro y la destrucción generadas por el tipo de desarrollo. Se integra con la creación y el establecimiento de un conjunto de acciones que promueven un desarrollo ambientalmente sustentable por medio de la aplicación de algunos instrumentos específicos como:

- a) Planeación ambiental: se refiere a la utilización de una técnica propia de la política del desarrollo aplicada a materias ambientales.
- b) Ordenamiento del territorio: Forma específica de planeación ambiental con respecto al uso del suelo y otros recursos naturales.
- c) Regulación de asentamientos humanos: Es la aplicación de otra forma específica de planificación ambiental.
- d) Normas Oficiales Mexicanas: Instrumento indispensable para la aplicación de la legislación ambiental, establecen con la especificidad necesaria los límites permisibles desde el punto de vista ambiental para el desarrollo de las actividades humanas.
- e) Evaluación de Impacto Ambiental: Procedimiento previo a la realización de una obra o actividad con el fin de determinar sus efectos en el ambiente, y con base en estos, autorizar, denegar o condicionar la ejecución de dicha obra o actividad.
- f) Sistemas Nacionales de Áreas Protegidas: Tienen el propósito de poner a salvo ciertos ecosistemas naturales de modificaciones indeseables.
- g) Prevención y Control de Catástrofes Ambientales: Para atenuar el resultado del incremento de dichas catástrofes, que en su mayoría tienen consecuencias irreversibles en el ambiente.
- h) Otros: Instrumentos considerados como prerequisites para la formulación y ejecución de la política ambiental como son la educación, investigación, vigilancia y evaluación ambiental y sistemas de información.

De esta manera, la legislación ambiental tiene como objetivo la administración y el manejo de todas las actividades humanas que inciden sobre el ambiente, a través de un conjunto de normas jurídicas que regulan las conductas humanas que pueden influir de manera importante en los procesos que alteran los factores y atributos ambientales.

Así, en nuestro país la formulación de leyes en materia ambiental inició en marzo de 1971 al promulgarse la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, que fue derogada en febrero de 1982, siendo sustituida por la Ley Federal de Protección al Ambiente, en la que por primera vez aparecen medidas dirigidas a la protección integral del ambiente. También surge la evaluación del impacto ambiental con la finalidad de conformar un instrumento necesario para la planeación de proyectos; sin embargo, la Ley no tuvo el sustento necesario para afrontar los problemas ambientales. Cabe mencionar, que no se llegaron a formular los reglamentos correspondientes a las leyes antes mencionadas.

En marzo de 1988, entra en vigor la **Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)**, teniendo reformas y adiciones en diciembre de 1996, esta es reglamentaria en las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección del ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce soberanía y jurisdicción.

Esta ley también considera a la Evaluación de Impacto Ambiental como un instrumento de planeación muy útil para el desarrollo de actividades que pudieran ocasionar algún desequilibrio ecológico, e incluyó el concepto de riesgo ambiental cuando la obra o actividad analizada involucra el manejo de sustancias peligrosas. Con esta Ley se modificó la manera convencional de analizar los proyectos

que pudieran afectar al ambiente, no sólo en la planeación, construcción, operación y mantenimiento, sino también con la llegada de un evento extraordinario.

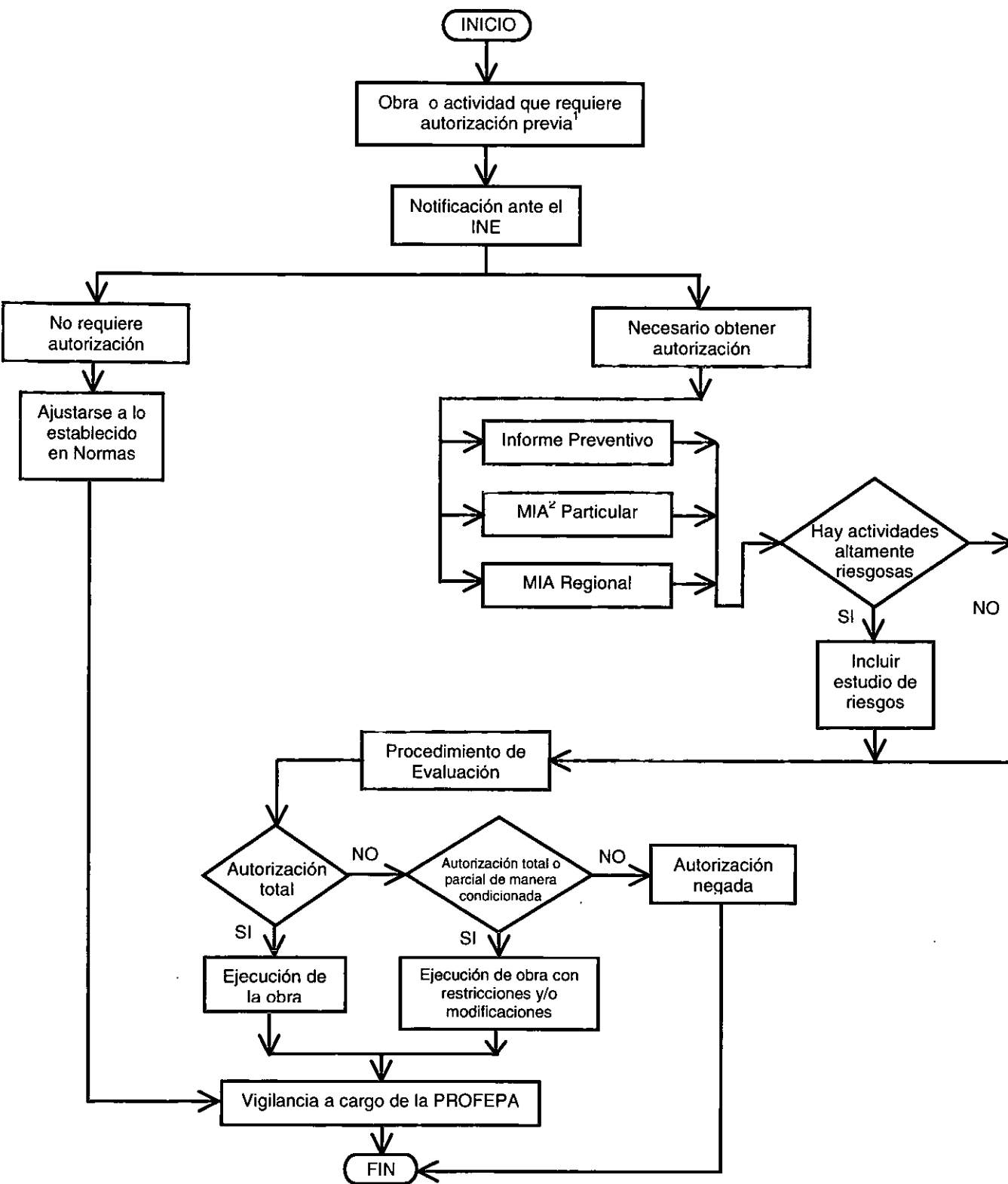
De esta Ley se derivan cuatro reglamentos en materia de: Impacto Ambiental; Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera; Residuos Peligrosos y Prevención y Control de la Contaminación Generada por los Vehículos Automotores que Circulan en el Distrito Federal y los Municipios de su Zona Conurbada.

En el reglamento, en materia de impacto ambiental (cuya más reciente modificación se realizó en mayo de 2000, entrando en vigor a partir del 29 de junio del mismo año), se menciona que existen ciertas obras o actividades que deberán contar con previa autorización de la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), en caso de que éstas pudieran causar desequilibrios ecológicos. Entre el listado de las obras o actividades que requieren autorización, figuran: obras hidráulicas, vías generales de comunicación, industria química, petrolera, siderúrgica, papelera, azucarera, del cemento, eléctrica, exploración, explotación y beneficio de minerales y sustancias reservadas a la federación, etc., con sus respectivas excepciones.

Para la obtención de dicha autorización se debe llevar a cabo el proceso mostrado en la Figura 1.1, donde la SEMARNAP a través de sus organismos desconcentrados como el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Procuraduría Federal para la Protección del Ambiente (PROFEPA) establece los lineamientos correspondientes.

El cuadro 1.1 presenta un resumen del contenido de la LGEEPA (diciembre de 1996). El cuadro 1.2 muestra el resumen del contenido del Reglamento en materia de Impacto Ambiental de la presente ley (mayo 2000).

Figura 1.1. Proceso para la autorización de la ejecución de un proyecto, en materia de impacto ambiental.



Cuadro 1.1 Resumen de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

TITULO	CAPITULOS	ARTICULOS	TEMA
1°. Disposiciones Generales	I. Normas Preliminares	1,2 3	Disposiciones generales Definiciones
	II. Distribución de competencias y coordinación	4 5,6 7,8,9,10 11,12,13,14,14Bis	Distribución de facultades según Estados y Federación Facultades de la Federación Facultades de los estados, D.F. y municipios Coordinación de la Federación con los estados, D.F. y municipios para que éstos adquieran funciones adicionales
	III. Política Ambiental	15,16	Principios para la formulación de la política ambiental y expedición de NOM en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente
	IV. Instrumentos de política ambiental	17,18  19,19Bis 20,20Bis 20Bis1,20Bis2,20Bis3, 20Bis4,20Bis5 20Bis6,20Bis7 21,22,22Bis  23 28 29  30,34,35,35Bis 31 32,33  35Bis1 35Bis2 35Bis3 36,37,37Bis 38,38Bis,38Bis1, 38Bis2 39,40,41	En la planeación y realización de las acciones de las dependencias y entidades de la admon. Pública, se considerarán los lineamientos establecidos en el Plan Nacional de desarrollo y los programas correspondientes Criterios para la formulación del ordenamiento ecológico Generalidades sobre el ordenamiento ecológico del territorio Bases, procedimientos y objetivos para la formulación y expedición de prog. de ordenamiento ecológico regional y local Formulación, expedición y ejecución de programas de ordenamiento ecológico marino Desarrollo y aplicación de instrumentos económicos para incentivar el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental Regulación ambiental de los asentamientos humanos Generalidades sobre la evaluación del impacto ambiental Condiciones para las obras o actividades que no requieran someterse a una evaluación de impacto ambiental Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) Obras y actividades que sólo requieren un informe preventivo Autorización en materia de impacto ambiental a obras o actividades pertenecientes a planes o programas de desarrollo Prestadores de servicios de impacto ambiental Impacto ambiental de obras o actividades no comprendidas en el Art. 28 Obras o actividades que además requieran autorización de inicio de obra Objetivos y formulación de NOM en materia de impacto ambiental Autorregulación y auditorías ambientales  Promoción de la investigación y educación ecológicas
2°. Biodiversidad	I. Areas naturales protegidas	44,45 46,47,48,49,50,51,52, 53,54,55,56,56Bis 57,58,59,60,61,62,63, 64,64Bis,64Bis1,65,66 67,74,75,75Bis 76,77	Disposiciones generales Tipos y características de las áreas naturales protegidas Declaratorias para el establecimiento, administración y vigilancia de áreas naturales protegidas  Sistema Nacional de Areas Protegidas
	II. Zonas de restauración	78,78Bis,78Bis1	Formulación y ejecución de programas de restauración ecológica
	III. Flora y fauna silvestre	79,80,81,82,83,84,85, 86,87,87Bis,87Bis1,87 Bis2	Criterios y lineamientos para la preservación y aprovechamiento sustentable de la flora y fauna silvestre

Continuación cuadro 1.1

TITULO	CAPITULOS	ARTICULOS	TEMA
3°. Aprovechamiento sustentable de los elementos naturales	I. Aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos	88,89,90,91,92,93,94,95,96,97	Criterios y campos de aplicación de lineamientos para el aprovechamiento sustentable del agua y ecosistemas acuáticos. Otorgamiento de autorizaciones, expedición de NOM y realización de estudios de impacto ambiental
	II. Preservación y aprovechamiento sustentable del suelo y sus recursos	98,99 100 101,101Bis,102 103,104 105	Criterios, áreas de desarrollo y especificaciones para la conservación y utilización sustentable del suelo Suspensión de autorizaciones Disposiciones aplicables a las actividades realizadas en zonas áridas o selváticas Obligaciones para quienes realizan actividades agrícolas o pecuarias y su coordinación con otras dependencias Aspectos que deben ser considerados en el otorgamiento de estímulos fiscales
	III. De la explotación y exploración de los recursos no renovables en el equilibrio ecológico	108,109	Características y observaciones de las NOM para prevención y control de daños ocasionados por la exploración y explotación de recursos no renovables
4°. Protección al ambiente	I. Disposiciones generales	109Bis	Consolidación de un sistema de información acerca de emisiones atmosféricas, descarga de aguas residuales y materiales y residuos peligrosos
		109Bis	Establecimiento de un solo trámite para la obtención de licencias, permisos o autorizaciones
		110	Criterios aplicados en la protección de la atmósfera
	II. Prevención y control de la contaminación de la atmósfera	111	Facultades de la Sría. en relación al control de la contaminación atmosférica
		111Bis	Autorización de la Sría. para operación y funcionamiento de fuentes fijas de contaminación atmosférica de jurisdicción Federal
		112	Distribución de atribuciones en la prevención y control de la contaminación atmosférica en los estados y municipios
		113	Emisiones contaminantes a la atmósfera
		114	La Sría. promoverá en las industrias cercanas a áreas habitacionales la utilización de tecnologías y combustibles que generen menor contaminación
		115	Participación de la Sría. en la determinación de usos del suelo en los programas de desarrollo urbano
	III. Prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos	116	Consideraciones para otorgar estímulos fiscales
117,118		Criterios utilizados en la prevención y control de la contaminación del agua, y sus áreas de aplicación	
119		Expedición de NOM por parte de la Sría.	
119Bis,120		Atribuciones en materia de prevención y control de la contaminación del agua por parte de los estados y municipios	
121		No se pueden descargar aguas residuales que contengan contaminantes sin previo tratamiento y permiso o autorización de la autoridad	
122		Aspectos que se deben prevenir cuando se descargan AR.	
123		Todas las descargas deberán cumplir con lo establecido en las NOM y con las condiciones particulares implantadas por autoridades locales si la situación lo requiere	
124	Las descargas de aguas residuales que afecten a fuentes de abastecimiento de agua serán autorizadas por la Sría. de Salud		
126	Los equipos de tratamiento de aguas residuales deberán cumplir con las NOM		
127	La Sría. de Salud participa en el desarrollo de instalaciones de purificación de aguas residuales de origen industrial		



Continuación cuadro 1.1

TITULO	CAPITULOS	ARTICULOS	TEMA
		128	Las aguas residuales municipales podrán utilizarse en la industria y en la agricultura, si se someten a tratamiento cumpliendo con las NOM
		129	Las autorizaciones o permisos para el uso del agua estarán condicionados al tratamiento previo de las aguas residuales que se generen
		130,131	Coordinación de la Sría. con la Sría. de Marina para la autorización del uso y vertidos en aguas marinas
		132,133	Participación de otras Secretarías (de Marina, de Energía, de Salud y de Comunicaciones y Transporte) en materia de prevención y control de la contaminación del agua
	IV. Prevención y control de la contaminación del suelo	134,135	Criterios utilizados en la prevención y control de la contaminación del suelo, y los casos en que se aplican
		136	Aspectos que se deben evitar al depositar o infiltrarse residuos en el suelo
		137	Los procesos que conducen a la disposición final de residuos sólidos municipales están sujetos a la autorización de los municipios conforme sus leyes locales
		138	Coordinación y asesoría de la Sría. con los gobiernos estatales y municipales
		139,140	Las descargas, manejo y disposición final de elementos contaminantes están sujetos a lo establecido en las NOM
		141	La Sría. en coordinación con las Secretarías de Comercio y Fomento Industrial y de Salud expiden NOM aplicadas a los empaques y envases para reducir la generación de desechos sólidos
		142	No esta autorizada la importación de residuos para su destrucción o disposición final en territorio nacional o en zonas en las que la nación ejerce soberanía y jurisdicción
		143	Los plaguicidas, fertilizantes y materiales peligrosos quedarán sujetos a las NOM existentes en sus respectivas competencias
		144	La Sría. en coordinación con las Secretarías de Salud, de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural y de Comercio y Fomento Industrial, determinará restricciones arancelarias y no arancelarias en la importación y exportación de materiales peligrosos
	V. Actividades consideradas como altamente riesgosas	145	La Sría. podrá determinar las zonas en las que se permita el establecimiento de actividades riesgosas
		146,147,148	La Sría. en coordinación con otras Secretarías realiza la clasificación y regulación de las actividades consideradas altamente riesgosas
		149	Los estados y el D.F. regularán las actividades que no sean consideradas altamente riesgosas
	VI. Materiales y residuos peligrosos	150,151	Manejo y disposición final de residuos peligrosos
		151Bis	Actividades que requieren autorización previa de la Secretaría
		152	Programas para prevenir y reducir la generación de residuos peligrosos, reúso y reciclaje
		152Bis	Quien maneje residuos peligrosos y origine alguna contaminación en el suelo realizará acciones para recuperar el mismo
		153	Importación y exportación de materiales peligrosos
	VII. Energía Nuclear	154	Participación de la Sría. en este ámbito
	VIII. Ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica, olores y contaminación visual	155,156	Atribuciones de la Sría. en este campo

**Cuadro 1.2. Resumen del Reglamento (en materia de impacto ambiental) de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente**

CAPITULO	ARTICULOS	TEMA
I. Disposiciones generales	1,2 3 4	Objetivos y aplicación del reglamento Definiciones Facultades de la Sría. en materia de impacto ambiental
II. De las obras o actividades que requieren autorización en materia de impacto ambiental y de las excepciones	5 6 7 8	Obras y actividades que requieren previa autorización de la Secretaría en materia de Impacto Ambiental Requisitos que deben cumplir las ampliaciones, modificaciones, sustituciones de infraestructura, rehabilitación y mantenimiento de las obras o actividades señaladas en el art. anterior para no presentar autorización en materia de impacto ambiental Las obras o actividades que se realicen ante un desastre, con fines preventivos o para salvar una situación de emergencia, no requerirán de previa evaluación de impacto ambiental, pero se dará aviso a la Sría. Los que hayan incurrido en la realización de las obras o actividades mencionadas en el art. anterior, deberán presentar un informe de las actividades realizadas, así como las medidas de mitigación necesarias
III. Del procedimiento para la evaluación del impacto ambiental	9 10 11 12,13 14 15 16 17 18 19 20 21 22	Presentación ante la Secretaría de la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) Modalidades de la MIA Casos en los cuales se deberá presentar una MIA en su modalidad regional Contenido de la MIA en sus modalidades particular y regional Evaluación de impacto ambiental de una obra o actividad que involucre el cambio de uso de suelo de áreas forestales, selvas y zonas áridas Presentación simultánea de la MIA y el plan de manejo cuando se trate de aprovechamiento y plantaciones forestales previstas en el art. 5° Cuando la Sría. tenga conocimiento de que se iniciará una obra que pueda causar desequilibrios ecológicos graves, notificará al interesado la determinación para llevar a cabo el procedimiento de impacto ambiental correspondiente Requisitos que el promovente deberá anexar a la solicitud de autorización en materia de impacto ambiental Contenido del estudio de riesgo La solicitud, sus anexos y la información adicional se presentarán en un disquete con cuatro tantos impresos de su contenido En el momento en que el promovente entregue su solicitud la Sría. le indicará las deficiencias que puedan ser corregidas en ese mismo acto De la integración del expediente La Sría. podrá solicitar al promovente aclaraciones, rectificaciones o ampliaciones del contenido de la MIA
	23 24	Las autoridades competentes de los Estados, del Distrito Federal o de los Municipios podrán presentar ante la Sría. las actividades incluidas en el art. 5°, si es que están dentro de los planes o programas de desarrollo urbano u ordenamiento ecológico La Sría. podrá solicitar la opinión técnica de alguna dependencia de la Admon. Pública Federal, cuando el tipo de proyecto lo requiera

**Continuación cuadro 1.2**

CAPITULO	ARTICULOS	TEMA
	25 26 27,28	Cuando se trate de las obras mencionadas en el art. 23, la Sría. comunicará a los gobiernos estatales y municipales que ya ha recibido la manifestación de impacto ambiental Documentos que la Sría. integrará al expediente Las modificaciones que el promovente realice en la obra durante el proceso de evaluación o una vez emitida la autorización, se deberán comunicar a la Sría.
IV. Del procedimiento derivado de la presentación del informe preventivo	29 30 31 32 33 34	Condiciones en las que las obras o actividades incluidas en el art.5º deberán presentar un informe preventivo Contenido del informe preventivo El promovente podrá someter a consideración de la Sría. condiciones adicionales para evitar o atenuar los efectos dañinos, tales condiciones formarán parte del informe preventivo El informe preventivo se presentará en un disquete con tres tantos impresos de su contenido Resolución del informe preventivo Cuando dos o más obras se realicen o ubiquen en un parque industrial o se encuentren previstas dentro de los programas de desarrollo, los informes preventivos podrán presentarse conjuntamente
V. De los prestadores de servicios de evaluación del impacto ambiental	35 36	Los informes preventivos, manifestaciones y estudios de riesgo podrán ser elaborados por los interesados o por cualquier persona física o moral Lineamientos que deberán observar quienes elaboren los estudios
VI. De la participación pública y del derecho a la información	37 38 39 40 41 42 43	La Sría. publicará semanalmente en la Gaceta Ecológica un listado de las solicitudes de autorización, de los informes preventivos y de las manifestaciones de impacto ambiental que reciba Los expedientes de evaluación de las manifestaciones de impacto ambiental estarán a disposición para ser consultados por cualquier persona La consulta podrá realizarse en horas y días hábiles en las oficinas centrales de la Sría. o en la delegación correspondiente Cualquier persona podrá solicitar a la Sría. que se lleve a cabo una consulta pública de los proyectos sometidos a su consideración Notificación sobre la determinación de conceder o no la consulta pública El promovente deberá remitir a la Sría. la página del periódico donde aparece la publicación del extracto del proyecto, para ser incorporada al expediente Bases con las cuales la Sría. podrá organizar una reunión pública
VII. De la emisión de la resolución sobre la evaluación del impacto ambiental	44 45 46 47 48 49 50	Aspectos que debe considerar la Sría. al evaluar las manifestaciones de impacto ambiental Resoluciones derivadas de la evaluación de las manifestaciones de impacto ambiental Plazo para emitir la resolución de la evaluación de la MIA La ejecución de la obra o actividad deberá sujetarse a lo previsto en la resolución respectiva En los casos de autorizaciones condicionadas, la Sría. señalará las condiciones y requerimientos necesarios en cada una de las etapas de la obra o actividad La vigencia de las autorizaciones expedidas por la Sría. no excederán el tiempo propuesto para la ejecución de tales obras o actividades Todo promovente que decida no ejecutar una obra o actividad sujeta a autorización, deberá comunicarlo por escrito a la Sría.

Continuación cuadro 1.2

CAPITULO	ARTICULOS	TEMA
VIII. De los seguros y las garantías	51	La Sría. podrá exigir el otorgamiento de seguros o garantías respecto al cumplimiento de las condiciones señaladas en las autorizaciones
	52	La Sría. fijará el mosto de las garantías y seguros
	53	El promovente deberá renovar anualmente los montos de los seguros o garantías
	54	La Sría. constituirá un Fideicomiso con los recursos provenientes del cobro de seguros y garantías
IX. De la inspección, medidas de seguridad y sanciones	55	La Sría. a través de la PROFEPA realizará los actos de inspección y vigilancia
	56	Cuando exista riesgo inminente de un daño ecológico grave, la Sría. podrá ordenar medidas de seguridad previstas en el art. 170 de la Ley
	57	Si se llevan a cabo obras o actividades sin previa autorización, la Sría. ordenará las medidas correctivas que procedan
	58	Objetivos y alcances de las medidas correctivas
	59	Cuando el responsable de una obra o actividad autorizada no cumpla con las condiciones previstas en la autorización, la PROFEPA ordenará la imposición de las medidas de seguridad que correspondan
	60	Cuando la autoridad emplace al presunto infractor y éste comparezca, la Sría. dictará la resolución respectiva
	61	Si como resultado de una visita de inspección se ordena la imposición de medidas de seguridad, el inspeccionado deberá notificar a la autoridad del cumplimiento de las mismas
	62	Cuando el infractor realice las medidas correctivas, previamente a que la Sría. imponga una sanción, dicha autoridad deberá presentar tal acción como atenuante de la infracción cometida
	63	En los casos a los que se refiere el último párrafo del art.173 de la Ley, el infractor deberá presentar su solicitud para realizar inversiones equivalentes en la adquisición de equipo para evitar contaminación, restauración y protección del ambiente y recursos naturales
64	La Sría. promoverá la creación de fondos y fideicomisos, formados por los recursos que se obtengan de la aplicación de la Ley	
X. De la denuncia popular	65	Toda persona, grupos sociales, organizaciones no gubernamentales, asociaciones y sociedades podrán denunciar ante la PROFEPA todo hecho que produzca o pudiera producir un desequilibrio ecológico
Transitorios		

Continuación cuadro 1.1

TITULO	CAPITULOS	ARTICULOS	TEMA
5°. Participación social e información ambiental	I. Participación Social	157,158,159	Acciones que el Gob. Federal debe promover para la participación de la sociedad en la planeación, ejecución, evaluación y vigilancia de las políticas ambientales y recursos naturales
	II. Derecho a la información ambiental	159Bis,159Bis1,159Bis2,159Bis3,159Bis5,159Bis6,159Bis4	La Sría. desarrollará un sistema nacional de información ambiental y de recursos naturales, así como la publicación de informes y de una gaceta Toda persona tendrá derecho a que la Sría., los estados y municipios pongan a su disposición la información ambiental que les soliciten Restricciones para el otorgamiento de información
6°	I. Disposiciones Generales	160	Ambitos en los que las disposiciones de éste título se pueden aplicar
	II. Inspección y vigilancia	161	La Sría. realizará los actos de inspección y vigilancia del cumplimiento de las disposiciones contenidas en este ordenamiento
		162,163,164,165,166,167,168,169	Visitas de inspección y personal autorizado para su realización
	III. Medidas de seguridad	170,170Bis	Cuando exista riesgo o daño grave a los recursos naturales, la Sría. podrá ordenar medidas de seguridad
	IV. Sanciones administrativas	171,172,173,174,174Bis,174Bis1,175,175Bis	Sanciones emitidas por la Sría. por incumplimiento a los preceptos de ésta ley, sus reglamentos y disposiciones
V. Recurso de revisión	176,177,178,179,180,181,182,183,184,185,186,187,188,189,190,191,192,193,194,195,196,197,198,199,200,201,202,203,204	Situaciones y especificaciones en los que se puede recurrir al recurso de revisión de la resolución emitida por la Sría. y casos en los que se puede suspender el decomiso impuesto como sanción por parte de la autoridad Penas y multas a quien viole lo establecido en las disposiciones legales, reglamentarias y de normas técnicas Denuncias ante la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente y aspectos legales	

### 1.3 Sistema de control y vigilancia

Para garantizar el funcionamiento adecuado de un proyecto en cualquiera de sus etapas, es necesario establecer un sistema de control y vigilancia que permita hacer una evaluación de las condiciones existentes (diagnóstico), y además si es necesario, proponer las intervenciones que se requieran en caso de existir irregularidades y de que la obra no este cumpliendo con los objetivos para los cuales se realizó.

Dentro de las acciones que intervienen en este sistema se encuentran las siguientes:

- La existencia de una red de monitoreo eficiente que determine los parámetros que sean necesarios para detectar la contaminación del agua producida por descargas de origen doméstico, industrial y agrícola, permitiendo actuar de manera rápida en caso de presentarse alguna irregularidad.
- Debe realizarse una auténtica vigilancia del cumplimiento de los lineamientos establecidos en las normas y reglamentos, de esta manera se garantiza su efectividad o en caso contrario, hacer los cambios pertinentes para ajustarlas a las condiciones que prevalezcan en el medio. Cabe destacar, que en materia de control y vigilancia es muy importante la participación y coordinación entre las autoridades correspondientes y la población involucrada.
- Establecimiento eficaz de programas de saneamiento rural a nivel comunidad, municipal y estatal.
- Fomento de la educación en materia de salud y cultura del agua.
- Implantación de medidas prácticas para el control de la erosión y de prácticas agrícolas adecuadas en los suelos que conforman las cuencas tributarias.
- Programa de inspección y de visitas de campo realizadas por personal especializado, para el establecimiento de medidas preventivas y correctivas, según la situación lo amerite.
- Monitoreo y control en los efluentes provenientes de las plantas potabilizadoras, en caso de que el agua del embalse sea utilizada para abastecimiento de agua potable.
- Realización de **estudios sanitario-ambientales**, que permitan dar una señal de alerta a partir de la cual se decidirá si es necesaria una intervención más especializada o en caso contrario, con base en los recursos disponibles proponer las medidas que se requieran para conservar la calidad del agua.

Las actividades antes mencionadas, representan algunas de las herramientas para evaluar y mejorar el estado en que se encuentra el agua de las presas, aunque, en este trabajo sólo se desarrollará la parte correspondiente al estudio sanitario-ambiental, cabe señalar que todas ellas se complementan entre sí y que deben ser aplicadas en conjunto para conformar un adecuado sistema de control y vigilancia.

La metodología que se plantea en este trabajo, es un instrumento por medio del cual se puede llevar a cabo el control y vigilancia de la calidad del agua en los embalses de las presas, de acuerdo a las siguientes etapas:

#### I. Información

En esta etapa se hace la recopilación de todos los datos relacionados con la presa, la cuenca tributaria y la zona de aprovechamiento, a través de planos, red de monitoreo, visitas de inspección y encuestas a la comunidad con el fin de obtener información más real y precisa.

#### II. Interpretación

Después de haber recabado toda la información necesaria, se procede a analizarla haciendo uso de índices para valorar el riesgo y cuantificar los daños de una forma simplificada y asignando valores basados en la experiencia. En forma paralela, es necesaria la capacitación del personal de los organismos operadores involucrados en el problema.

#### III. Intervenciones

A partir de los resultados de la etapa anterior se establecen las prioridades y medidas que sean necesarias para el mejoramiento de la salud humana y la calidad del agua, dichas propuestas se harán a nivel técnico, financiero, administrativo o de participación social.

### 1.4 Metodología para la evaluación de factores ambientales

Los criterios más usuales en la evaluación de proyectos son los siguientes:

- Técnicos
- Financieros
- Económicos
- Ambientales

En cada uno de ellos es necesario que los efectos de los proyectos puedan ser traducidos utilizando técnicas de transformación de la información a elementos que permitan obtener parámetros indicativos que cuantifiquen la alteración de los factores ambientales y de esta manera, establecer un patrón de medición y comparación.

#### Técnicos

En el estudio técnico de un proyecto se consideran ciertos aspectos como:

*Tamaño.* Capacidad de producción que resultará del funcionamiento normal de la unidad productiva.

*Proceso.* Conjunto de acciones cuyo encadenamiento transformará los insumos del proyecto en los productos respectivos.

*Localización.* Elección de la región, ciudad o área rural y el terreno preciso en que se ubicará la unidad de producción proyectada.

#### Financieros

Los criterios financieros tienen como objetivo maximizar el rendimiento de la inversión, minimizando los costos.

## Económicos

Estos criterios persiguen objetivos nacionales que resultan más ambiciosos que los del empresario privado. Tales objetivos además de ser de tipo cuantitativo (incrementos en la productividad, en impuestos, en divisas, en empleos, etc.), involucran criterios cualitativos (desconcentración y diversificación económica, autosuficiencia, entre otros).

## Ambientales

Los criterios ambientales analizan la forma en que las actividades asociadas con el desarrollo de un proyecto afectan a la sociedad en su conjunto.

Hablar de "ambiente", implica la consideración de todos sus factores; sin embargo, para los fines de este trabajo en el cuadro 1.3 se definen cuáles de sus múltiples componentes con sus atributos y patrones de medición serán incluidos en el presente estudio.

**Cuadro 1.3 Lista parcial de factores ambientales con sus respectivos atributos y/o patrones de medición**

Factores	Atributos y patrones de medición
<p style="text-align: center;"><b>FÍSICO-QUÍMICOS</b></p> <p>Agua</p> <p>Suelo</p>	<p>Cantidad disponible</p> <p>Índice de Calidad del Agua</p> <p>Cargas remanente y transportada</p> <p>Capacidad de autopurificación</p> <p>Tipo de suelo</p> <p>Índice de Erosión</p> <p>Índice de Productividad del suelo</p>
<p style="text-align: center;"><b>ECOLÓGICOS</b></p> <p>Especies y poblaciones (terrestres y acuáticas)</p>	<p>Principales especies de la región</p> <p>Especies sujetas a riesgo</p>
<p style="text-align: center;"><b>SOCIO-ECONÓMICOS</b></p> <p>Población</p>	<p>Crecimiento</p> <p>Servicios</p> <p>Actividades económicas</p> <p>Índice de marginación</p>
<p style="text-align: center;"><b>SALUD</b></p> <p>Grupos sujetos a riesgo</p> <p>Infraestructura sanitaria</p>	<p>Principales enfermedades de origen hídrico</p> <p>Índice de Morbilidad</p> <p>Cobertura y calidad</p>

Con el fin de cumplir con los alcances de este estudio, la aplicación de los criterios de medición que permiten obtener parámetros indicativos se realizará en mayor medida dentro del factor físico-químico; aunque es importante señalar que todos ellos están relacionados e interactúan entre sí. Por lo que, los demás componentes no quedan excluidos totalmente. Por otra parte, para tener una



cuantificación rápida del grado de alteración en los factores ambientales, se hará uso de los siguientes índices:

- Índice de Calidad del Agua (simplificado)
- Índice de Erosión
- Índice de Productividad del Suelo
- Índice de Morbilidad

Las consideraciones y procedimientos para calcularlos se mostrarán más adelante.

## Agua

Los contaminantes del agua se pueden dividir en dos grupos, que son:

- Conservativos
- No conservativos

Los contaminantes conservativos son los materiales no degradables biológicamente en el medio acuático y no desaparecen de éste por procesos de precipitación o volatilización.

Los contaminantes no conservativos se refieren a la materia orgánica, nutrientes y sustancias químicas, que a través de procesos de degradación biológica, precipitación o volatilización, no permanecen en el ambiente acuático en su estado original.

El modelo más utilizado para contaminantes conservativos, como los cloruros, es el del balance de masa considerando el caudal del flujo en el sistema y factores de dilución.

Para la dispersión de contaminantes en un río existe una fórmula simplificada para contaminantes conservativos.

$$C_f = \frac{C_i Q_r + C_d Q_d}{Q_r + Q_d} \dots\dots\dots \text{Ec. 1.1}$$

$C_f$  = Concentración final del contaminante en el río

$C_i$  = Concentración inicial del contaminante en el río antes de la descarga

$Q_r$  = Gasto del río aguas arriba de la descarga

$C_d$  = Concentración del contaminante en la descarga

$Q_d$  = Gasto de la descarga

### *Oxígeno disuelto*

La cantidad de oxígeno disuelto en el agua es un parámetro importante para valorar su calidad; por ejemplo, los peces requieren de cierta cantidad mínima de OD de acuerdo a su especie, forma de desarrollo, actividad y temperatura del agua. La presencia de oxígeno en el agua es fundamental para que se lleve a cabo el proceso aerobio de descomposición de la materia orgánica.

La reareación, fotosíntesis, respiración y descomposición, son procesos que hacen variar la cantidad de oxígeno disuelto.

**Reareación.** Es el proceso por medio del cual el oxígeno entra en el agua por el contacto de su superficie con la atmósfera.

**Fotosíntesis.** Es el proceso mediante el cual las plantas verdes captan la energía solar y la almacenan en forma química.

**Respiración.** Es un proceso celular de quema de alimento para la obtención de energía que se usa en generación de impulsos nerviosos, síntesis de proteínas y construcción de nuevas células.

**Descomposición.** Se le llama así al proceso mediante el cual los microorganismos, especialmente las bacterias, usan los desechos orgánicos como nutrientes y en el proceso desdoblan los complejos orgánicos en materiales simples e inorgánicos.

Los modelos utilizados para predecir el comportamiento de la materia orgánica incluyen consideraciones del cambio en la concentración del oxígeno disuelto como resultado de la demanda de oxígeno de las bacterias durante el proceso de descomposición. Uno de los modelos más usados para la determinación de oxígeno disuelto es el propuesto por Streeter y Phelps en 1925. A partir de éste modelo se han creado técnicas más avanzadas referentes al comportamiento de contaminantes no conservativos en el medio acuático.

Por medio de las siguientes ecuaciones se puede conocer el oxígeno disuelto cuando la corriente ha recorrido una distancia  $x$  (Ec. 1.2), la distancia a la cual se presenta la concentración de oxígeno mínima, es decir, la distancia crítica (Ec. 1.3) y el valor correspondiente a la concentración de oxígeno mínima (Ec. 1.4). Las ecuaciones 1.5 y 1.6 proporcionan el valor de las constantes de degradación y reareación respectivamente, en función de la temperatura.

#### Modelo de Streeter y Phelps

$$O = O_s - \frac{K_1 L}{K_2 - K_1} \left( e^{-K_1 \frac{x}{v}} - e^{-K_2 \frac{x}{v}} \right) - D_0 e^{-K_2 \frac{x}{v}} \quad \text{Ec. 1.2}$$

donde:

$O$  = oxígeno disuelto

$O_s$  = oxígeno de saturación

$x$  = distancia

$$X_c = -\frac{v}{K_2 - K_1} \ln \left\{ \frac{K_2}{K_1} \left[ 1 - \frac{D_0}{LK_1} (K_2 - K_1) \right] \right\} \quad \text{Ec. 1.3}$$

donde:

$X_c$  = distancia crítica

$$O_{min} = O_s - \frac{K_1}{K_2} L e^{-K_1 \frac{X_c}{v}} \quad \text{Ec. 1.4}$$

donde:

$O_{min}$  = oxígeno mínimo

$O_s$  = oxígeno de saturación

$X_c$  = distancia crítica

En las ecuaciones anteriores:

- $D_0$  = Déficit inicial de oxígeno
- $L$  = carga última
- $v$  = velocidad de la corriente
- $K_1$  = constante de degradación
- $K_2$  = constante de reaireación

$$K_{1(T)} = K_{1(20)} (1.047^{T-20}) \dots\dots\dots \text{Ec. 1.5}$$

$$K_{2(T)} = K_{2(20)} (1.025^{T-20}) \dots\dots\dots \text{Ec. 1.6}$$

donde:

- $K_{1(T)}$  = constante de degradación a una temperatura T
- $K_{2(T)}$  = constante de reaireación a una temperatura T
- $K_1$  = constante de degradación a 20 °C
- $K_2$  = constante de reaireación a 20 °C
- T = temperatura

La figura 1.2 muestra la representación gráfica del modelo de Streeter y Phelps

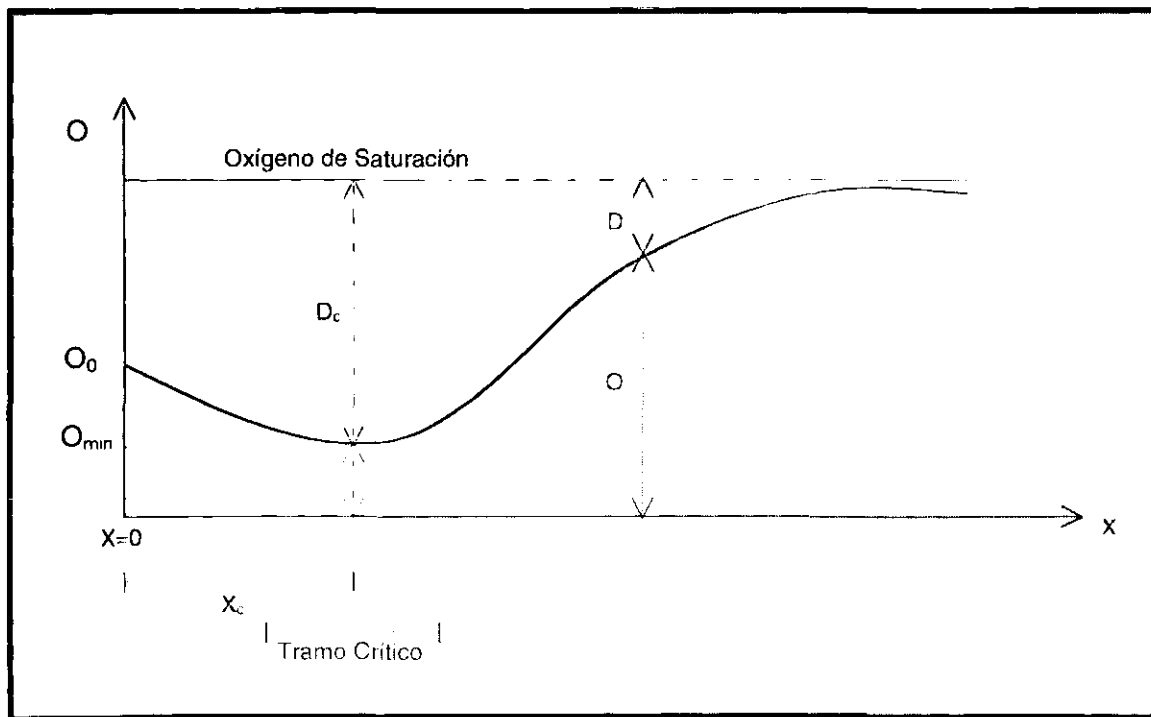


Figura 1.2. Representación gráfica del modelo de Streeter y Phelps

### Oxidación de la materia orgánica

Generalmente, la materia orgánica se estabiliza biológicamente y los microorganismos presentes utilizan sistemas de oxidación aerobios y anaerobios.

La oxidación aerobia se lleva a cabo en presencia de oxígeno; parte de la materia orgánica se sintetiza para formar nuevos microorganismos y el residuo se convierte en productos finales más estables. La oxidación anaerobia se desarrolla en ausencia de oxígeno para producir nuevas células y productos finales inestables como ácidos orgánicos, alcoholes, cetonas o metano. La reacción anaerobia es mucho más lenta que el proceso aerobio y es ineficiente en relación con la conversión de energía.

### Naturaleza de la materia orgánica

Dentro del control de la calidad del agua existen tres tipos principales de materia orgánica:

1. Carbohidratos (CHO). Formados por carbono, hidrógeno y oxígeno, los más comunes son los azúcares como la glucosa, el almidón y la celulosa.
2. Compuestos nitrogenados (CHONS). Están compuestos de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y ocasionalmente azufre. En estos compuestos el nitrógeno se libera como amoníaco en la oxidación.
3. Lípidos y grasas (CHO). Formados por carbono, hidrógeno y un poco de oxígeno, son poco solubles en el agua y solubles en disolventes orgánicos.

### Naturaleza del crecimiento biológico

Cuando se trata de un cultivo simple de microorganismos alimentados una sola vez, su comportamiento, es el siguiente: en las primeras etapas del crecimiento existe una gran cantidad de alimento y nutrientes, por lo que la reproducción va en aumento, comportándose exponencialmente. Posteriormente, se llega a un punto en el que la concentración de alimento o de algún nutriente se hace escaso, y por consiguiente el crecimiento de los microorganismos se restringe cada vez más. Durante la etapa final, el alimento se ha agotado, se detiene el crecimiento y la cantidad de microorganismos disminuye, como se puede observar en la figura 1.3.

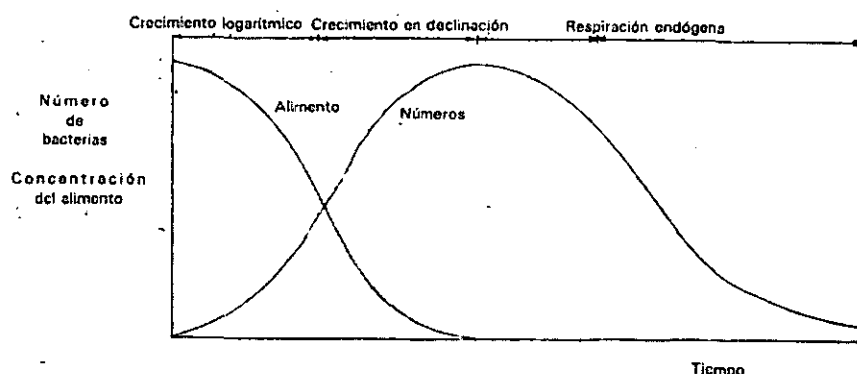


Figura 1.3 Curva de crecimiento biológico

### Demanda de oxígeno en la oxidación aerobia

En el control de la calidad del agua es importante conocer la cantidad de materia orgánica presente en el sistema y la determinación de la cantidad de oxígeno requerido para su estabilización.

Los procesos para la determinación de la demanda química de oxígeno, no indican si la sustancia es biodegradable, tampoco marcan la velocidad a la cual proseguiría la oxidación biológica, y consecuentemente, la tasa a la que se consumiría oxígeno en un sistema biológico. Por tales razones, la mayoría de las mediciones de concentración de los desechos se hace con la prueba de la **demanda bioquímica de oxígeno (DBO)** desarrollada desde principios de siglo por la Royal Commission on Sewage Disposal.

La prueba de DBO mide la cantidad de oxígeno consumido por las bacterias mientras oxidan la materia orgánica en condiciones aerobias. Durante el ejercicio de la DBO, en las primeras etapas el ritmo de oxidación es proporcional a la concentración de la materia orgánica oxidable restante y una vez que se ha formado una población adecuada de microorganismos, la velocidad de reacción está controlada únicamente por la cantidad de alimento disponible; es decir:

$$\frac{dL}{dt} = -KL \quad \dots\dots\dots\text{Ec. 1.7}$$

donde: L = concentración de la materia orgánica restante o DBO última  
t = tiempo  
K = constante de degradación

Integrando:

$$\int_{L=L}^{L=L_t} \frac{dL}{L} = - \int_{t=0}^{t=t} K dt$$

Se obtiene:

$$L_t = L e^{-Kt} \quad \dots\dots\dots\text{Ec. 1.8}$$

Como interesa más conocer la cantidad de oxígeno consumido, es decir,  $DBO_t$ , que la demanda de oxígeno restante, tenemos:

$$DBO_t = L - L_t = L (1 - e^{-Kt}) \quad \dots\dots\dots\text{Ec. 1.9}$$

La figura 1.4 muestra la DBO remanente y la ejercida

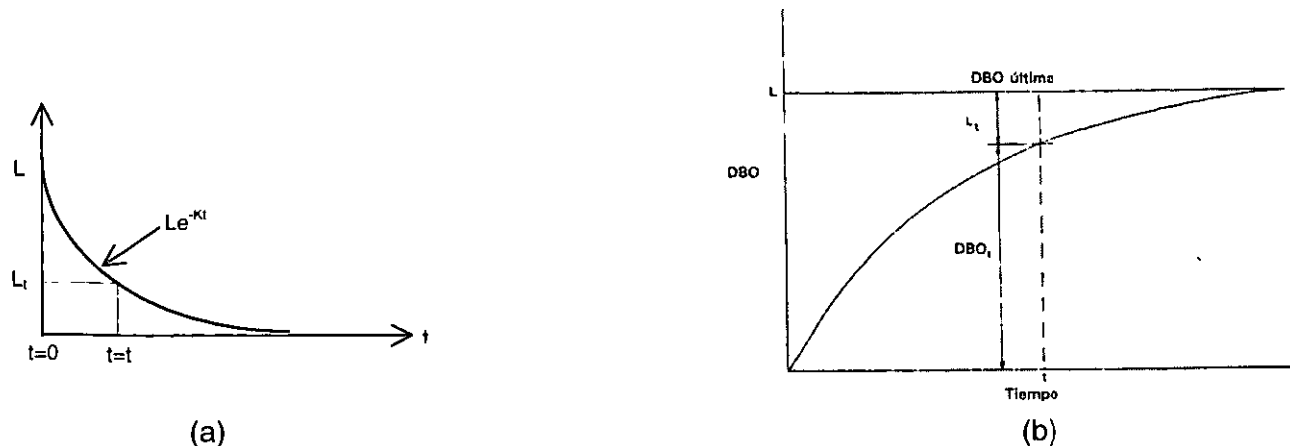


Figura 1.4. a) DBO remanente y b) DBO ejercida

### Oxidación anaerobia

Existen ciertos casos en los que el requerimiento de oxígeno es alto, por ejemplo en desechos orgánicos cargados como lodos, desagües de rastros, etc. Debido a su alta demanda de oxígeno, físicamente es difícil conservar condiciones aerobias en el recipiente de reacción, durante su tratamiento. Por lo cual, la estabilización anaerobia de la parte principal de la materia orgánica resulta ser un método adecuado de tratamiento aunque su eficiencia es más baja y es lenta la velocidad de reacción. La estabilización completa de la materia orgánica no se puede lograr anaeróbicamente y normalmente es necesario tratar el efluente proveniente de un proceso anaerobio por medios aerobios.

La oxidación anaerobia es un proceso de dos niveles y como tal presenta algunos problemas en la operación. Las bacterias que forman ácido y que llevan cabo el primer nivel de la descomposición, son muy adaptables a las condiciones ambientales, en cambio, las formadoras de metano, que se encargan del segundo nivel son más sensibles. Estas trabajan solamente con un pH de 6.5 a 7.5. Por tal motivo, es importante mantener las condiciones adecuadas para las bacterias de metano. Un alto contenido de ácidos, resultado de las formadoras de acción rápida, se manifiesta en un bajo pH, limitando la acción de las formadoras de metano y la reacción se queda en un punto en el que se producen compuestos desagradables y con mal olor. El exceso de ácidos llega a tal concentración que las formadoras de ácidos se inhiben y la acción se entorpece. Tal situación sólo puede corregirse con un cambio en el pH, por medio de sustancias químicas, generalmente cal, aunque lo mejor sería evitar estos desajustes a través de la observación cuidadosa del pH y la concentración de ácidos. Ambos tipos de bacterias se desarrollan mejor en condiciones cálidas, se ha observado que las temperaturas óptimas para la oxidación anaerobia van de 3°C a 55°C.

### Índice de calidad del agua

Es una cantidad adimensional, que permite medir el grado de contaminación del agua, se puede aplicar a cualquier cuerpo acuático; incluye dos o más parámetros de acuerdo a los alcances del estudio y a la información relevante y/o disponible, utilizados bajo un mismo marco de referencia. Existen varios métodos para su obtención que consideran todos sus parámetros, sin embargo en el presente trabajo se utilizará el siguiente Índice de Calidad del Agua (simplificado) ya que sólo se utilizarán tres parámetros:

$$Ica = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \frac{C_i}{N_i} \dots\dots\dots Ec. 1.10$$

donde:

$C_i$  = concentración del contaminante  $i$

$N_i$  = concentración que establece la norma para el contaminante  $i$

$n$  = número de contaminantes analizados

La concentración establecida por la norma a la que se refiere la ecuación 1.10, para este caso en particular, corresponde a las concentraciones de contaminantes permisibles incluidas en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89.

En el cuadro 1.4 se establece la situación en que se encuentra el factor agua de acuerdo al valor de su índice de calidad.

**Cuadro 1.4 Situación del factor agua según su índice de calidad**

Intervalos de valores del Ica (simplificado) *	Situación
$Ica < 10$ $10 \leq Ica < 20$ $20 \leq Ica < 30$ $Ica \geq 30$	Poco Contaminada Moderadamente Contaminada Contaminada Muy Contaminada

\* **Nota** : Los valores correspondientes a estos intervalos han sido propuestos teniendo presente que no se consideran propiamente las descargas de aguas residuales sino que los criterios utilizados toman en cuenta que existe una dilución y autopurificación en los cuerpos de agua, por otro lado, uno de los parámetros más importantes a considerar en el cálculo del índice de calidad del agua es el número de coliformes que además se comporta en forma logarítmica.

Otra forma de calcular este índice, considerando más parámetros es:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (I_i W_i)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i} \dots\dots\dots Ec. 1.11 \quad 0 < ICA < 100$$

$1 < W_i < 5$

donde:

ICA = Índice de calidad general

$I_i$  = Índice de calidad del parámetro considerado

$W_i$  = Valor de importancia relativa del parámetro considerado

$n$  = Número de parámetros

A mayor valor de ICA mejor calidad del agua.

Dinius establece otra manera de calcularlo:

$$ICA = \prod_{i=1}^{i=n} I_i^{W_i} \dots\dots\dots Ec. 1.12$$

Con  $W_i < 1$

## Suelo

### Índice de erosión

Existe un modelo conceptual que permite estimar la pérdida de suelo (índice de erosión) y que considera los factores que la generan:

$$I_e = R+K+L+S+C+P \dots\dots\dots Ec. 1.13$$

$I_e$  = Índice de erosión

R = Factor debido a la intensidad de lluvia

K = factor de erosionabilidad del suelo

L = Factor de longitud de la pendiente

S = Factor de gradiente de la pendiente

C = Factor de manejo del suelo (cubierta vegetal)

P = Factor de técnica de control de la erosión

Los valores que se asignan a los factores pueden variar de 0 a 1, correspondiendo el valor más bajo al menor riesgo provocado por ese factor y el valor más alto al riesgo mayor; por lo cual el intervalo de valores del índice de erosión, será:

$$0 \leq I_e \leq 6$$

Es importante señalar que el valor asignado es cualitativo y dependerá del criterio y experiencia de quien lo asigna.

### Índice de productividad del suelo

Este índice se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$Ips = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{P_i}{P_{mi}} \dots\dots\dots Ec. 1.14$$

donde:

n= número de cultivos analizados

$P_i$ = Productividad del cultivo i en la zona de estudio

$P_{mi}$ = Productividad media nacional del cultivo i



El valor ideal de este índice sería mayor o igual a uno, lo cual indicaría que la productividad del suelo de la región en estudio es muy cercana a la productividad nacional; en caso de presentar valores menores a la unidad, reflejaría una productividad baja del suelo.

## Factor socio-económico

### *Índice de marginación*

A través de este índice se mide la intensidad global de marginación socio-económica, es decir, valora las dimensiones, formas e intensidades de exclusión en el proceso de desarrollo y disfrute de sus beneficios. Es determinado por el Consejo Nacional de Población y Vivienda (CONAPO), utilizando los datos registrados en los Censos de Población y Vivienda llevados a cabo por el INEGI. Esta compuesto por varias dimensiones socio-económicas tales como: Vivienda, Ingresos monetarios, Educación y Distribución de la población. Todas ellas expresadas en sus diversas formas y asociadas a un indicador para medir su magnitud.

De acuerdo a los resultados numéricos del índice, el grado de marginación se clasifica en: **Muy Baja, Baja, Media, Alta o Muy Alta**; según el intervalo en que se encuentre el índice de marginación.

## Salud

### *Índice de morbilidad*

Este índice permite valorar las condiciones de salud que prevalecen en una región respecto a un cierto tipo de enfermedades, se determina de la siguiente manera:

$$Im = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{Pi}{Pn} \dots\dots\dots Ec. 1.15$$

donde:

n= número de enfermedades analizadas

Pi= Porcentaje de enfermedad i en la zona de estudio

Pn= Porcentaje de la enfermedad i a nivel nacional

Por lo que:

$Im < 1$  buenas condiciones de salud

$Im \geq 1$  malas condiciones de salud

El valor de referencia para saber las condiciones de salud existentes en la zona analizada es la unidad, teniendo el siguiente intervalo: Si el *Im* es menor a uno, indica que en la zona de estudio prevalecen condiciones de buena salud; el caso contrario se presentaría cuando el valor del *Im* sobrepase a la unidad.

Las enfermedades consideradas para la obtención de este índice son aquellas que tienen entre sus principales medios de transmisión al agua, tanto potable como residual, en la primera por no haberse desinfectado debidamente y en la segunda por ser utilizada (sin previo tratamiento) para el riego de cultivos susceptibles a ser contaminados (como las hortalizas).

## 1.5 Enfermedades relacionadas con el agua

Existen varias enfermedades infecciosas en las cuales tiene influencia el agua, la causa de éstas puede tener su origen en bacterias, protozoarios o gusanos, en el cuadro 1.4 se muestra una clasificación de las enfermedades hídricas y sus formas de transmisión a través del agua.

**Cuadro 1.4. Principales enfermedades relacionadas con el agua**

Enfermedad	Tipo de relación con el agua
Cólera Hepatitis infecciosa Leptospirosis Paratifoidea Tularemia Tifoidea	Transmitida por el agua
Disentería amibiana Disentería bacilar Gastroenteritis	Por el agua o por el agua para aseo personal
Ascariasis Conjuntivitis Enfermedades diarreicas Lepra Sarna Sepsis y úlcera de la piel Tiña Tracoma	Por el agua para aseo
Gusano de Guinea Esquistosomiasis	Desarrolladas en el agua
Paludismo Oncocercosis Enfermedad del sueño Fiebre amarilla	Insectos vectores relacionados con el agua

Tebbutt. Fundamentos de Control de Calidad del Agua

*Enfermedades transmitidas por el agua.* Dentro de las enfermedades hídricas más comunes las que causan mayor daño son las que se propagan por agua contaminada con heces u orina humanas. La infección empieza cuando el organismo patógeno llega al agua que consume una persona que no es inmune a la enfermedad, aunque este tipo de enfermedades también se pueden transmitir por cualquier otra ruta que permita la ingestión de la materia fecal de una persona enferma. La situación se complica porque algunas personas pueden ser sólo portadoras de enfermedades como la tifoidea y no muestran signos exteriores de la enfermedad, pero su excreta contiene los patógenos.

*Enfermedades causadas por el agua para el aseo personal.* Las enfermedades que se contagian por la ingestión de agua contaminada también pueden transmitirse por contacto directo entre las heces y la boca. Cuando la higiene es deficiente debida al deficiente suministro de agua, la propagación de la

infección se puede reducir con el suministro de más agua, en cuyo caso la calidad pasa a ser un factor secundario.

Otras enfermedades que se pueden clasificar dentro de este grupo son aquellas que provocan infecciones de la piel y de los ojos, también se incluyen las úlceras bacterianas, la sarna y el tracoma, asociadas con los climas cálidos secos y su incidencia puede disminuir si se dispone de agua suficiente para el aseo personal.

*Enfermedades desarrolladas en el agua.* Algunos organismos patógenos que ocasionan varias enfermedades pasan parte de su ciclo de vida en el agua o en un huésped intermedio que vive en ella. La mayoría de estas enfermedades son causadas por gusanos que infestan al paciente y producen huevos que se descargan en las heces o en la orina, en este caso la infección ocurre por penetración a través de la piel más que por el consumo de agua. Por ejemplo la esquistosomiasis que puede utilizar como huésped a una especie particular de caracol o el gusano de Guinea cuyo huésped intermedio es la pulga de agua.

*Insectos vectores relacionados con el agua.* Existen varias enfermedades que se propagan por insectos que se multiplican o se alimentan cerca del agua, la infección no está relacionada con el consumo humano del agua o su contacto, los mosquitos que transmiten el paludismo y otras enfermedades se desarrollan en el agua estancada y poco profunda de los pantanos, en las orillas de los lagos y en los recipientes donde se almacena agua. Por ello, es muy importante que las obras de abastecimiento de agua y de drenaje no sirvan de morada a los mosquitos, evitando su acceso por medio de mosquiteros y demás protección adecuada.

En los países en desarrollo, las enfermedades relacionadas con el agua son muy comunes y tienen gran presencia en las causas de morbilidad y mortalidad. Dichas enfermedades tienen diversos orígenes y son causadas principalmente por bacterias, virus o parásitos.

- Principales enfermedades de origen bacteriano:
  - Fiebres tifoideas y paratifoideas, cuyos agentes patógenos son la *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi* A y B.
  - Disentería, cuyo agente patógeno es la *Shigella* spp.
  - Cólera, cuyo agente es el *Vibrio cholerae*.
  - Gastroenteritis agudas y diarreicas, cuyos agentes son la *Escherichia coli* enterotóxica, *Campylobacter*, *Yersinia enterocolica*, *Salmonella* spp. y *Shigella* spp.
- Principales enfermedades de origen viral:
  - Hepatitis A y B, cuyo agente es el virus de la hepatitis A y B.
  - Poliomielitis, cuyo agente es el virus de la poliomielitis.
  - Gastroenteritis agudas y diarreicas, originadas por el virus Norwalk, rotavirus, enterovirus, adenovirus, etc.

- Principales enfermedades de origen parasitario:
  - Disentería amebiana, cuyo agente es la *Entamoeba histolytica*.
  - Gastroenteritis, cuyos agentes son la *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium*

El cólera, que se consideraba erradicado, resurgió en 1991 con una grave epidemia que se inició en Perú. A partir de esa fecha, se han registrado en toda América 391, 000 casos, de los cuales 19, 295 han sido mortales.

Aproximadamente 200 millones de personas en América Latina, Asia y Africa presentan anualmente síntomas de infecciones intestinales originadas por *Giardia*. Cada año aparecen unos 500, 000 casos graves y la gran mayoría corresponde a niños.

## CAPITULO 2

# EVALUACIÓN SANITARIO - AMBIENTAL EN PRESAS CON CRITERIOS DE CUENCA Y RIESGO

---

### 2.1 Definiciones y objetivos

A continuación, se presentan algunas definiciones relativas a este capítulo, que servirán además de base conceptual, para determinar los alcances del presente trabajo; asimismo, se establecen los objetivos de la metodología propuesta para llevar a cabo la evaluación sanitario-ambiental en presas con criterio de cuenca y riesgo.

**Riesgo:** Probabilidad de un daño ambiental severo. La exactitud en la determinación de ese riesgo está en función del conocimiento de las actividades del proyecto y de su zona de influencia.

**Análisis de riesgos:** Identificación y evaluación sistemática de factores que generan riesgos y peligros.

**Peligro:** Es la fuente u origen de un riesgo, una amenaza que puede causar un accidente.

**Presa:** Bajo el contexto sanitario-ambiental, el concepto de presa incluye además de la cortina y sus obras conexas, **la cuenca tributaria, el embalse y la zona de aprovechamiento y/o afectación aguas abajo**. La figura 2.1 muestra el concepto de presa desde el punto de vista sanitario-ambiental.

**Cuenca Hidrográfica:** Es un área física y geográfica delimitada, en donde las aguas subterráneas y superficiales vierten a una red natural a través de uno o varios cauces de caudal continuo o intermitente, los cuales conducen a un curso mayor que desemboca a un río principal, en un depósito natural o artificial de agua o en el mar. La cuenca se delimita por una línea divisoria de aguas, llamada parte aguas.

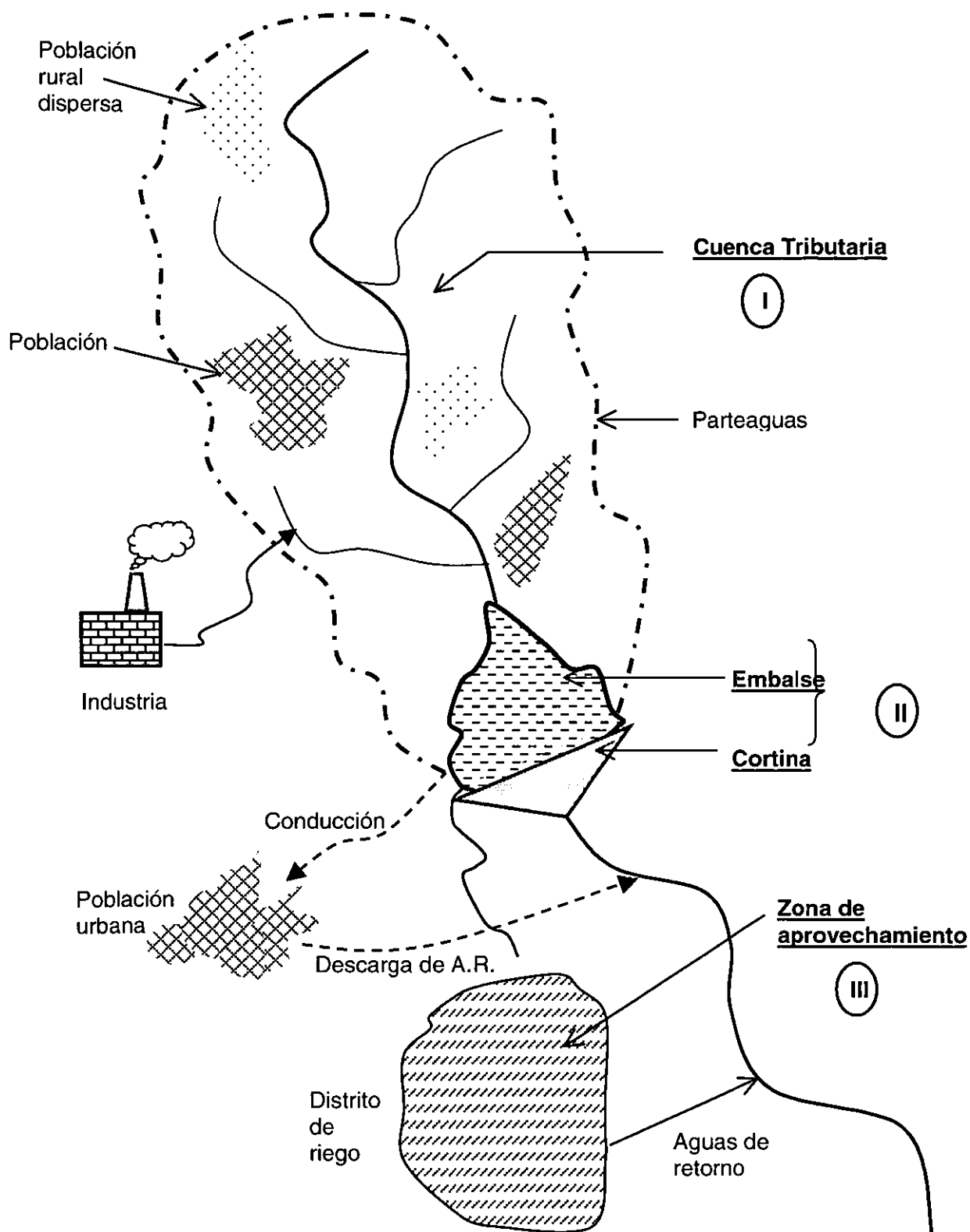
Incluye los siguientes componentes:

**Componentes físicos:** de tipo geológico, geomorfológico, climático, los recursos hídricos y los suelos.

**Componentes biológicos:** relacionados con la flora, fauna y los ecosistemas.

**Componentes socioeconómicos y culturales:** población, actividades educativas, salud, actividades económicas, paisaje, tradiciones culturales y su relación con los recursos, etc.

Figura 2.1. Concepto de presa desde el punto de vista sanitario-ambiental



De acuerdo al reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Impacto Ambiental:

**Estudio de riesgo:** Documento mediante el cual se da a conocer, a partir del análisis de las acciones proyectadas para el desarrollo de una obra o actividad, los riesgos que dichas obras o actividades presenten para el equilibrio ecológico o el ambiente, así como las medidas técnicas de seguridad, preventivas y correctivas, tendientes a evitar, mitigar, minimizar o controlar los efectos adversos al equilibrio ecológico en caso de un posible accidente, durante la ejecución y operación normal de la obra o actividad de que se trate.

**Medidas de prevención y mitigación:** Conjunto de disposiciones y acciones anticipadas, que tienen por objeto evitar o reducir los impactos ambientales que pudieran ocurrir en cualquier etapa de desarrollo de una obra o actividad.

La metodología sugerida, es una guía simplificada para evaluar las condiciones ambientales existentes en la región estudiada, de acuerdo a los siguientes **objetivos**:

- Tener un estudio a través del cual, se obtengan los antecedentes necesarios para llegar a la adecuada planeación de acciones dirigidas hacia la conservación de la salud humana, el entorno físico y la protección del agua de las presas.
- Contar con una guía para la evaluación de riesgos sanitarios y ambientales, a través de una metodología práctica que permita establecer un diagnóstico de la calidad ambiental que se presenta en la zona analizada; el método también puede evaluar la efectividad de las medidas de mitigación provenientes de un estudio de impacto ambiental.
- Disponer de indicadores numéricos que son de gran utilidad en la toma de decisiones para evitar efectos negativos en la población y su entorno físico.
- Con los resultados de este análisis, se pueden determinar las medidas prioritarias relativas a la ingeniería sanitaria y ambiental, como parte del proceso de saneamiento y preservación de la calidad del agua en las presas.
- Establecer las herramientas teóricas y técnicas para calcular el daño esperado debido a la contaminación del agua y demás factores ambientales involucrados (suelo, salud y productividad agrícola).
- Si se dispone de datos suficientes, se podrá obtener el costo del daño, el cual representa una herramienta de planeación para evaluar la factibilidad en la realización de las medidas de protección.

La metodología que se plantea en este trabajo, es un instrumento por medio del cual se puede llevar a cabo el control y vigilancia de la calidad del agua en los embalses de las presas, de acuerdo con las etapas que se presentan en la siguiente sección.

## **2.2 Recopilación de información (campo y gabinete)**

En esta etapa se hace la recopilación de todos los datos relacionados con la presa, la cuenca tributaria y la zona de aprovechamiento, a través de planos, resultados de la red de monitoreo, visitas de inspección y encuestas a la comunidad con el fin de obtener información más real y precisa.

Es muy importante, que antes de realizar la visita de campo se cuente con la información relativa a las características geográficas, hidrológicas, socioeconómicas y ambientales de la zona en estudio, obtenida a través de planos o croquis de localización, anuarios estadísticos, resultados de análisis de calidad del agua en las corrientes principales, embalse, efluentes de plantas potabilizadoras y de tratamiento, así como la identificación y ubicación de descargas de aguas residuales y los principales usos del agua de la presa.

Contar previamente con la información necesaria y suficiente, facilita la detección de los factores que directa o indirectamente causan alteraciones de la calidad ambiental en la presa (considerando que el concepto de presa involucra la cuenca tributaria, el embalse y la zona de aprovechamiento o afectación aguas abajo).

### **2.2.1 Visitas de inspección**

En la metodología planteada para llevar a cabo el estudio sanitario-ambiental, basado en un criterio de cuenca y riesgo, es indispensable la realización de visitas de inspección a la zona en estudio con la finalidad de recabar información necesaria para iniciar el trabajo, estas visitas permiten tener una visión más amplia acerca de las causas y magnitud del problema, lo cual será de gran utilidad cuando se pase a la siguiente etapa, en la que se hace el análisis e interpretación de los datos obtenidos.

Otra fuente de información muy importante es la aplicación de encuestas a la comunidad, con la finalidad de formarse un criterio más objetivo en la detección de las alteraciones en los factores ambientales que pudieran afectar al ser humano y su entorno.

Durante el desarrollo de la visita de inspección el encargado deberá poner especial atención para detectar problemas de tipo sanitario-ambiental y de ser posible identificar las causas que los generan. Entre los que se presentan con mayor frecuencia están:

- Número excesivo de enfermos o defunciones registradas por enfermedades de origen hídrico o alimentario (epidemias).
- Número anormal de peces o aves enfermas o muertas (epizootias).
- Quejas de la población por molestias sanitarias a causa de la calidad del agua o por plagas de insectos (piquete de mosquito).
- Existencia de sustancias químicas peligrosas en el embalse y sus alrededores, confirmadas por laboratorio.
- Presencia de descargas de aguas residuales en la cuenca tributaria y el embalse.
- Color y olor desagradables del agua del embalse.



- Existencia de algas, maleza y demás flora acuática dañina.
- Abundancia de mosquitos y sus criaderos.
- Exceso de azolves en el vaso.
- Descenso considerable de los caudales del estiaje.
- Operación y mantenimiento irregulares de la presa.
- Descargas de aguas residuales.

Para que la información obtenida en el desarrollo de la visita de inspección sea completa, es necesario considerar que los principales aspectos relacionados con un estudio sanitario-ambiental son los que se presentan en el cuadro 2.1.

**Cuadro 2.1. Principales aspectos relacionados con el estudio sanitario-ambiental de una presa**

<b>Uso del agua del embalse</b>	En el abastecimiento de agua potable y su potabilización (completa o parcial). En actividades agrícolas y pecuarias. En actividades piscícolas y recreativas Cómo hábitat de peces y aves
<b>Detección de fuentes de contaminación</b>	Identificación de aguas residuales municipales o industriales que descargan al embalse (directa o indirectamente) sujetas o no a tratamiento. Contaminación difusa por insalubridad del ambiente.
<b>Azolvamiento de presas</b>	Pendiente que predomina en la cuenca tributaria (alta, media, baja). Grado de deforestación y prácticas agrícolas inadecuadas. Acumulación de azolves en el embalse.
<b>Población expuesta</b>	Tipo de población (urbana o rural). Tipo de asentamientos humanos (compacto o disperso). Morbilidad y mortalidad que prevalece en la zona.
<b>Biodiversidad</b>	Flora y fauna de la región y su exposición. Especies en peligro de extinción. Especies dañinas (maleza, roedores, insectos)

En el desarrollo de las visitas de inspección es importante considerar aparte del concepto de presa, que de acuerdo a los usos del agua en la misma, las destinadas al abastecimiento de agua potable, cobran mayor importancia por su contacto directo con el ser humano y las industrias.

Otro uso no menos importante es el destinado al riego agrícola ya que el empleo de agua contaminada en esta actividad finalmente daña (indirectamente) al ser humano; por otra parte, el aprovechamiento de esta agua debe restringirse, utilizándose únicamente en cultivos que sean más resistentes.

Finalmente, las visitas de campo no sólo se deberán realizar en la primera etapa del estudio con el fin de recopilar información, sino que también son un instrumento para la verificación del funcionamiento adecuado de las medidas de atenuación que resulten del estudio.

### 2.2.2 Cuestionario para la recopilación de datos (sanitario-ambientales)

El cuestionario propuesto ha sido elaborado con la finalidad de obtener y ordenar la información necesaria que se busca durante el desarrollo de la visita de campo, específicamente en los aspectos relacionados con la salud humana y con los factores o actividades que ejercen mayor influencia en la alteración de la calidad del agua en la presa y su aprovechamiento aguas abajo.

El formato de este cuestionario es sólo una guía para la recopilación de información que puede permitir modificaciones según las condiciones particulares del sitio en estudio, pero en general, la información que se solicita en él representa la situación que se manifiesta con mayor frecuencia en las presas del país que tienen problemas de contaminación del agua.

## CUESTIONARIO DE INSPECCIÓN DE PRESAS PARA VIGILANCIA Y EVALUACIÓN DE RIESGOS SANITARIO-AMBIENTALES

DATOS DE LA PRESA		
NOMBRE _____	ESTADO _____	MUNICIPIO _____
CAPACIDAD _____	TIPO DE CORTINA _____	REGIÓN HIDROLÓGICA # _____

### 1. CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS (Cuenca tributaria)

Relieve \_\_\_\_\_ Tipo de suelo \_\_\_\_\_

Erosión: Alta \_\_\_\_\_ Media \_\_\_\_\_ Baja \_\_\_\_\_

### 2. FACTORES CLIMÁTICOS

Temperatura (°C): Máxima \_\_\_\_\_ Media \_\_\_\_\_ Mínima \_\_\_\_\_

Precipitación Media anual(mm) \_\_\_\_\_ Mínima mensual(mm) \_\_\_\_\_ Máxima mensual (mm) \_\_\_\_\_

**3. VEGETACIÓN**

Si no se dispone de los porcentajes de área que ocupan, ordenar con un número (del 1 al 3) de acuerdo a su prevalencia

Cuenca tributaria.

Bosque \_\_\_\_(%del área tributaria) Pastizal\_\_\_\_(% del área tributaria) Tierra cultivable \_\_\_\_(%)

Aguas abajo

Bosque \_\_\_\_(%del área tributaria) Pastizal\_\_\_\_(% del área tributaria) Tierra cultivable \_\_\_\_(%)

**4. FAUNA (terrestre y acuática)**

a) Aguas arriba: (Mencione las tres especies principales)

Mamíferos \_\_\_\_\_

Aves (nativas y migratorias) \_\_\_\_\_

Peces \_\_\_\_\_

b) Embalse: (Mencione las tres especies principales)

Aves (nativas y migratorias)\_\_\_\_\_

Peces \_\_\_\_\_

Crustáceos \_\_\_\_\_

c) Aguas abajo: (Mencione las tres especies principales)

Mamíferos \_\_\_\_\_

Aves (nativas y migratorias) \_\_\_\_\_

Peces \_\_\_\_\_

d) Antecedentes de epizootias ocurridas en la presa y su entorno : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Especies en peligro de extinción y su principal causa \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**5. FLORA**

a) Aguas arriba: (Mencione tres especies principales)

Terrestre \_\_\_\_\_

Acuática \_\_\_\_\_

b) Embalse: (Mencione las tres especies principales)

Terrestre \_\_\_\_\_

Acuática \_\_\_\_\_

c) Aguas abajo: (Mencione las tres especies principales)

Terrestre \_\_\_\_\_

Acuática \_\_\_\_\_

**6. POBLACIÓN** (urbana y rural)

Urbana:

Nombre	Habitantes	Ubicación
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Rural

Nombre	Habitantes	Ubicación
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

**CROQUIS DE LA PRESA Y SU ÁREA DE INFLUENCIA**

**7. USOS DEL AGUA**

a) Aguas arriba (aprovechamiento de los afluentes de la presa)

Si no se dispone de las cantidades, ordenar con un número (del 1 al 3) de acuerdo a su prevalencia

Público Urbana \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s, Industrial \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s, Riego \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s,

Otros usos: (piscícola, recreativa, etc.) \_\_\_\_\_

b) Aguas abajo

Público Urbano \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s Industrial \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s Riego \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s,

Otros usos: (piscícola, recreativo, etc.) \_\_\_\_\_

Plantas potabilizadoras (descripción y operación, etc.)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Diagrama de flujo (proceso) de las plantas:

**8. DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES**

**Descargas municipales \***

Localidad	No. Habitantes	Ubicación descarga	Gasto (m <sup>3</sup> /s)	Tratamiento*
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____

**Descargas Industriales \***

Industria	Giro	Ubicación descarga	Gasto (m <sup>3</sup> /s)	Tratamiento*
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____

**Descargas agrícolas\***

Nombre	Superficie (ha)	Ubicación descarga	Gasto (m <sup>3</sup> /s)	Tratamiento*
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____

\* Si las aguas residuales están sujetos a tratamiento, describir las características de la planta, anexar diagrama de flujo y los resultados de los análisis de calidad.

Anexar croquis donde se indiquen las descargas

- d) Fecalismo sobre el suelo. \_\_\_\_\_
- e) Antecedentes de contaminantes químicos tóxicos. \_\_\_\_\_

**9. ENFERMEDADES DE ORIGEN HÍDRICO MÁS FRECUENTES**

Localidad	Enfermedades de origen hidrico mas frecuentes	Epoca del año en que se presentan	Fuente de abastecimiento de agua potable	Existe planta potabilizadora*
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____

\* En caso de existir Planta Potabilizadora anexar su diagrama de proceso.

Antecedentes de brotes epidémicos vinculados con el agua de la presa \_\_\_\_\_

10. QUEJAS POR CONTAMINACIÓN (molestias sanitarias: piquetes de insectos, olores desagradables, invasión de lirio, color y turbiedad, azolve excesivo)

---

---

11. REDUCCIÓN CRÍTICA DE GASTOS (afectación a la biodiversidad)

---

---

12. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PRESA (descripción)

---

---

13. COMENTARIOS.

---

---

---

### 2.3 Interpretación y análisis

Después de haber recabado toda la información necesaria se procede a analizarla haciendo uso de parámetros, índices, valores para asignar una calificación de riesgo y su respectiva probabilidad de ocurrencia, que sirven para valorar el riesgo y cuantificar los daños de una forma muy simplificada, con el empleo de valores basados en la experiencia.

Los índices son utilizados con la finalidad de establecer criterios de medición y un patrón de comparación; a pesar de la complejidad de tales criterios, existen formas convencionales para su cálculo. Por otra parte, el establecimiento del patrón de medición es una tarea realizada por el grupo que toma las decisiones, ya que no se considera de carácter permanente y universal debido a la variedad de condiciones que se desarrollan en cada región.

Tales índices, se calculan de acuerdo a criterios utilizados por la OPS (Organización Panamericana de la Salud) y representan una herramienta práctica que nos indica el grado de alteración de los factores ambientales analizados (agua, suelo, salud y productividad agrícola).

Los factores ambientales comúnmente afectados, así como sus causas y efectos adversos se resumen en el cuadro 2.2.

Cuadro 2.2. Causas y efectos adversos más comunes en el ambiente

PROBLEMAS DETECTADOS	FACTOR AMBIENTAL AFECTADO	EFFECTOS ADVERSOS
Descargas de A.R. c/ tratamiento parcial ♦ ☑	Agua ♦ ✓	Contaminación del agua // ♦ ☑
Descargas de A.R. sin tratamiento ♦ ☑		Erosión // ✓
Tala inmoderada //	Suelo // ✓	Azolvamiento // ✓
Prácticas agrícolas inadecuadas ✓		Enfermedades de origen hídrico ♦ ✓
Invasión de viviendas en inmediaciones del vaso ♦ ✓	Productividad agrícola ✓	Mortalidad ♦ ☑
Baja cobertura del servicio de alcantarillado ☑ ♦		Epidemias ♦ ☑
Fecalismo sobre el suelo ☑ ♦	Salud ☑	Epizootias ♦ ☑
Eutroficación del embalse ♦		Maleza acuática ♦
		Quejas y molestias de la población //
		Disminución de la productividad agrícola // ✓

**SIMBOLOGIA:**

Aspectos relacionados con:

♦ Agua // Suelo ✓ Producción agrícola ☑ Salud

Por otra parte, resulta de gran utilidad la elaboración de un perfil hidráulico de la corriente en el cual se indiquen las distancias entre cada tramo, las velocidades y el tiempo de recorrido, la variación del gasto (extracciones y aportaciones) durante el recorrido del afluente y la ubicación de las distintas localidades establecidas en los alrededores, que de alguna manera ejercen influencia sobre la calidad del agua de la corriente. A este perfil también se le puede agregar la información correspondiente a la variación de la carga orgánica en la corriente.

Posteriormente, se realizan cálculos para obtener parámetros más específicos referentes a la calidad del agua, como: carga orgánica remanente, capacidad de asimilación, factor de autopurificación y carga orgánica transportada tanto en los afluentes como en el vaso de la presa. Entre otros, tales parámetros son los más representativos en cuanto a contaminación del agua se refiere. Además, se cuenta con modelos matemáticos relativamente sencillos para conocer su comportamiento a través de variables como el tiempo y la distancia.

Es importante conocer la variación de estos parámetros a través de su trayecto hacia el vaso de la presa, ya que sus valores verificarán la presencia o ausencia de agentes contaminantes, dichos valores también dependen de otros factores como la distancia y tiempo de recorrido, la capacidad autodepuradora del cuerpo receptor, la temperatura, la existencia de otras descargas de agua de diferente calidad, etc. Para ello, se recomienda dividir a la corriente en tramos, los cuales serán determinados según los cambios que se presenten a lo largo del afluente.

Después de haber aplicado los modelos matemáticos para la obtención de los valores numéricos, se pueden elaborar gráficas donde se muestre la variación de cada uno de los parámetros analizados con respecto a la distancia que recorren los afluentes y de esta manera facilitar la interpretación del comportamiento de dichos parámetros, así como la identificación de aquellos lugares que alteran de manera importante la calidad del agua en la corriente estudiada.

Enseguida, se procede a realizar los cálculos necesarios para la obtención del índice de riesgo, el procedimiento es el siguiente:

Primeramente, se determina una calificación de riesgo, obtenida a través de la consideración de los diversos factores que alteran la calidad del agua (principalmente la existencia de descargas de agua residual). El rango de tal calificación fluctúa de 0.1 a 1.0, correspondientes a la condición más desfavorable y a la menos alterada, respectivamente, tal calificación se presenta en el cuadro 2.3. El criterio que se utilizó para la asignación de estos valores de referencia esta basado en la experiencia con estudios similares. No obstante, para que la metodología sea utilizada eficientemente por el personal (no especializado) que esta a cargo de la administración, operación y control del agua de una presa, es necesaria su capacitación en el empleo del método propuesto, además se debe considerar que éste puede ser ajustado a las condiciones que presente la región en estudio.

El cuadro 2.3 contiene una lista con diez características o factores que deterioran el estado del agua de las presas y su entorno, como se mencionó anteriormente, dichos factores están cuantificados y se pueden relacionar con sus respectivos factores de riesgo o elementos sujetos a afectación (contiene seis) que generalmente se observan durante la inspección. Por lo tanto, el cuadro permite construir hasta sesenta interrelaciones.

A continuación, a la calificación de riesgo obtenida del cuadro 2.3 se le asocia con su probabilidad de ocurrencia (cuadro 2.4), que a su vez depende de la existencia o ausencia de medidas de control, protección y/o mitigación; así como de la eficacia de las mismas si es que existen. Al multiplicar la calificación de riesgo por su probabilidad de ocurrencia se obtiene el **Índice de Riesgo**.

$$Ir = Cr \times P \dots\dots\dots Ec. 2.1$$

donde:

Ir = Índice de riesgo

Cr = Calificación de riesgo

P = Probabilidad de ocurrencia

De igual manera que los valores de la calificación de riesgo, los correspondientes a la probabilidad han sido determinados con base en la experiencia y en casos de estudios similares, tales valores se muestran en el cuadro 2.4.

En este cuadro, se asignan valores a la probabilidad de ocurrencia del riesgo en función de las medidas de atenuación establecidas y su grado de eficacia.

Una vez que se cuenta con la calificación de riesgo y su probabilidad de ocurrencia, los valores del índice de riesgo se pueden ordenar como se muestra en el cuadro 2.5. En este, se ha considerado únicamente el riesgo generado por las descargas de aguas residuales (que tienen o no tratamiento previo), así como la magnitud de estas descargas en relación con el gasto en estiaje de la corriente y el grado de depuración del agua cuando es destinada al consumo humano (agua potable).



**CUADRO 2.3. CALIFICACIÓN DEL RIESGO SANITARIO-AMBIENTAL EN PRESAS DESTINADAS AL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE (SALUD HUMANA)**

CALIFICACION	CARACTERÍSTICAS INDESEABLES DE LA PRESA	PROBLEMAS OBSERVADOS DURANTE LA INSPECCION	RIESGO	
			NIVEL	SITUACION
<b>1.0</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Descargas de aguas residuales municipales y/o industriales cuyo caudal conjunto sea mayor al 10% del caudal de estiaje de la corriente.</li> <li>Descarga de colectores (drenes), agrícolas de importancia, &gt;10,000 ha que viertan en forma directa o indirecta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enfermedades y defunciones (epidemia)</li> <li>Molestias sanitarias (quejas por: mosquitos u otros vectores, color y olor de las descargas, presencia de tóxicos)</li> <li>Incremento de microorganismos patógenos (Grupo Coliforme)</li> <li>Malezas acuáticas (eutroficación)</li> <li>Mortandad de peces y/o aves (epizootia)</li> </ul>	Muy Alto	Emergencia
<b>0.9</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Idem inciso anterior. Cuando el caudal conjunto sea menor del 10% y mayor del 5% del caudal medio de estiaje de la corriente.</li> <li>Descargas de drenes agrícolas por el riego &lt; de 10,000 ha y &gt; 5000 ha, que viertan en forma directa o indirecta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Epidemia o epizootia</li> <li>Malezas acuáticas (eutroficación)</li> <li>Sólo sobreviven especies acuáticas muy resistentes</li> <li>Color, olor y presencia de tóxicos</li> <li>Incremento de microorganismos patógenos (G. Coliforme)</li> </ul>	Alto	Deterioro Severo
<b>0.8</b>				
<b>0.7</b>				
<b>0.6</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Descargas de AR. municipales y/o industriales con caudal menor del 5% del caudal de estiaje.</li> <li>Descargas de (drenes) agrícolas para el riego &lt; de 5000 y &gt; de 20,000 ha que viertan en forma directa o indirecta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento de microorganismos potencialmente patógenos (G. Coliforme)</li> <li>Color y olor (sustancias tóxicas)</li> </ul>	Medio	Margen de tiempo para sanear
<b>0.5</b>				
<b>0.4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Idem. Cuando el caudal sea menor del 4% y mayor del 2% del caudal de estiaje de la corriente.</li> <li>Idem. Riego &lt;2000 ha.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento de microorganismos potencialmente patógenos</li> </ul>	Bajo	
<b>0.3</b>				
<b>0.2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Idem. Menor del 2% del caudal de estiaje de la corriente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento moderado de microorganismos potencialmente patógenos (G. Coliforme)</li> </ul>	Muy Bajo	
<b>0.1</b>				

**CUADRO 2.4. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DEL RIESGO, SEGÚN SU CALIFICACIÓN Y LAS MEDIDAS DE ATENUACIÓN**

CALIFICACIÓN DEL RIESGO		MEDIDAS DE ATENUACIÓN		
DESCRIPTIVA	NIVEL	NINGUNA	INSUFICIENTES	SUFICIENTES
CIERTO	MUY ALTO	0.99	0.9	0.5
PROBABLE	ALTO	0.9	0.7	0.4
POCO PROBABLE	MEDIO	0.6	0.5	0.3
DESPRECIABLE	BAJO	0.3	0.2	0.1
IMPROBABLE	MUY BAJO	0.1	0.09	0.05

El cuadro 2.5 consta de cuatro rubros: dos referentes al uso principal del agua de la presa (abastecimiento de agua potable y riego agrícola) y los otros dos relacionados con algunos de los factores que alteran la calidad del ambiente (como la deforestación que incrementa el azolvamiento y el fecalismo al aire libre que contribuye a la contaminación del suelo y del agua).

Cabe señalar que si se cuenta con los datos necesarios se puede cuantificar el **Costo del Daño** por medio del producto del índice de riesgo y el valor monetario de los bienes que resultarían afectados si se presentara una situación desfavorable. Aunque las pérdidas no sólo serían materiales, en el peor de los casos, si no se actúa debidamente, también serían humanas.

De los resultados anteriores, se decidirá si es necesario la elaboración de un diagnóstico más detallado para complementar la información y análisis preliminar, en caso de que estos últimos sean suficientes se podrán proponer las intervenciones necesarias y jerarquizar a la presa para su vigilancia.

## **2.4 INTERVENCIONES**

Con base en los resultados de la etapa anterior, se pueden establecer las prioridades y las medidas que sean necesarias para la protección de la salud humana y el mejoramiento de la calidad del agua; de acuerdo a los requerimientos que demande la solución del problema, dichas propuestas se harán a nivel:

**TÉCNICO.** Cuando se trate de implantar medidas preventivas y correctivas aplicadas en un lugar específico de la presa y sea necesaria la participación de personal especializado.

**INSTITUCIONAL.** Cuando las medidas que se requieran estén dirigidas hacia la modificación de los lineamientos establecidos dentro del marco jurídico, es decir, cuando se hace necesaria la intervención del Estado para dar solución al problema a través de la aplicación o corrección de las leyes, reglamentos y normas.

**PARTICIPACIÓN SOCIAL.** Cuando se hace necesaria la participación de la comunidad a través de campañas de educación encaminadas a cambiar una actitud y a la concientización sobre el uso racional y la protección de los recursos naturales.

### CAPITULO 3

#### CASO: PRESA EL CENTENARIO.

#### CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, QRO.

### 3.1 Características generales

La presa El Centenario se localiza sobre el río San Juan, a 22 km al norte de la población de San Juan del Río, en el municipio de Tequisquiapan, como se observa en la figura 3.1 donde se muestra un plano de localización

Fue construida por la Compañía Hidroeléctrica Queretana durante el periodo de mayo de 1909 a julio de 1910, para una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 12.0 millones de m<sup>3</sup>, con el objeto de regular los escurrimientos del río San Juan y, conjuntamente con la presa derivadora Paso de Tablas, abastecer a la planta generadora de energía eléctrica instalada en el sitio denominado "Las Rosas", en el municipio de Cadereyta, Qro.

Actualmente la planta generadora se opera en forma eventual y el agua de la presa es utilizada primordialmente para el riego de 840 ha del ejido de San Antonio Tecozautla, en el estado de Hidalgo y 86 ha más de la fracción "Las Rosas", pertenecientes al mismo ejido ubicadas en el estado de Querétaro.

En 1988, la Comisión Federal de Electricidad efectuó la entrega provisional de la obra a la SARH, para que se hiciera cargo de su operación y mantenimiento, estableciéndose en el convenio que se proporcionaría agua para mantener en operación las turbinas, conforme a las necesidades y compromisos de riego de la SARH.

A la fecha la operación y el control de la obra se llevan a cabo por parte del Distrito de Riego 023 de San Juan del Río, adscrito a la Gerencia Estatal de la Comisión Nacional del Agua. En el cuadro 3.1 se muestran los datos generales de la presa El Centenario.

**Cuadro 3.1 Datos generales de la presa El Centenario**

Corriente aprovechada	Río San Juan
Cortina de sección gravedad de mampostería junteada con mortero de cal	
Longitud de cortina	625.00 m
<b>Ancho de corona (variable)</b>	
Margen izquierda	2.30 m
Centro del cauce	4.65 m
Altura máxima	12.50 m

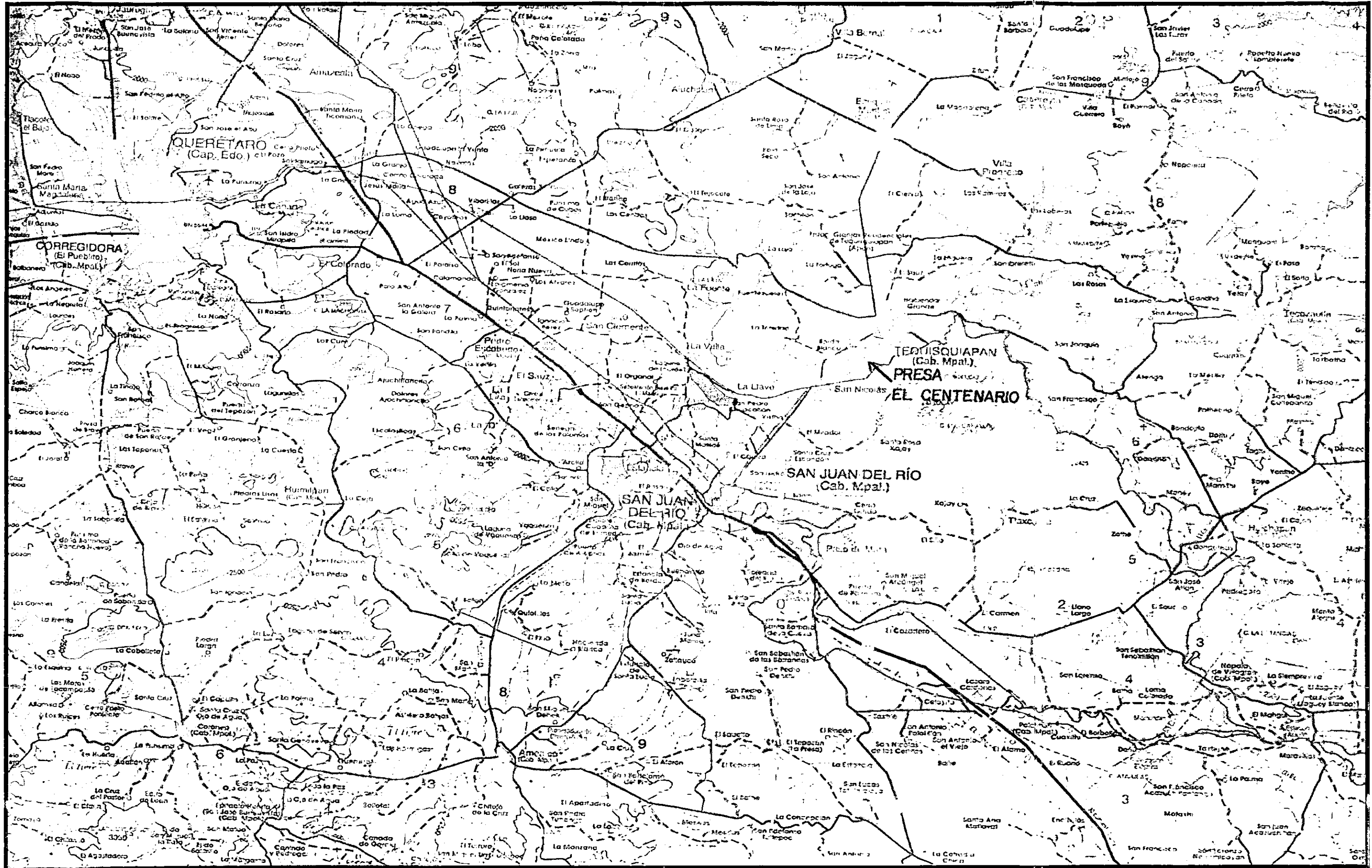


Figura 3.1 Plano de Localización

**Continuación cuadro 3.1**

<b>Taludes</b> Aguas arriba Aguas abajo	Vertical 0.58:1
<b>Elevaciones</b> Corona NAME NAMO	1 886.40 msnm 1 886.40 msnm 1 885.45 msnm
<b>Capacidades</b> al NAMO al NAME	9.0 mill. m <sup>3</sup> 13.2 mill. m <sup>3</sup>

*Vertedor* : Cuenta con cuatro estructuras vertedoras y una escotadura de 15.0 m de longitud sobre el terreno natural, ubicada en el extremo de la margen derecha. En la margen izquierda se tiene una estructura con cinco escotaduras de 1.50 m de ancho y 2.50 m de altura, obturadas con agujas de madera y un vertedor de cresta libre con perfil Creager de 40.0 m de longitud; hacia la margen derecha dispone de un vertedor de cresta libre con perfil Creager de 110.0 m de longitud y de un vertedor de cresta ancha de 30.0 m de longitud, ubicado 50 cm por arriba de la elevación correspondiente al NAMO.

Capacidad total de descarga (aproximada)	350.0 m <sup>3</sup> /s
Avenida máxima probable (Tr = 100 años)	1 600.0 m <sup>3</sup> /s
Avenida máxima observada (estimada en septiembre de 1976, derramó con una carga de 72 cm sobre la corona)	800.0 m <sup>3</sup> /s

*Obra de toma* : Se dispone de tres obras de toma de tubería a presión, operadas con válvulas de compuerta de 36, 30 y 24 pulgadas de diámetro.

Gasto máximo de extracción (aproximado)	45.0 m <sup>3</sup> /s
---	------------------------

### 3.1.1 Aspectos físicos

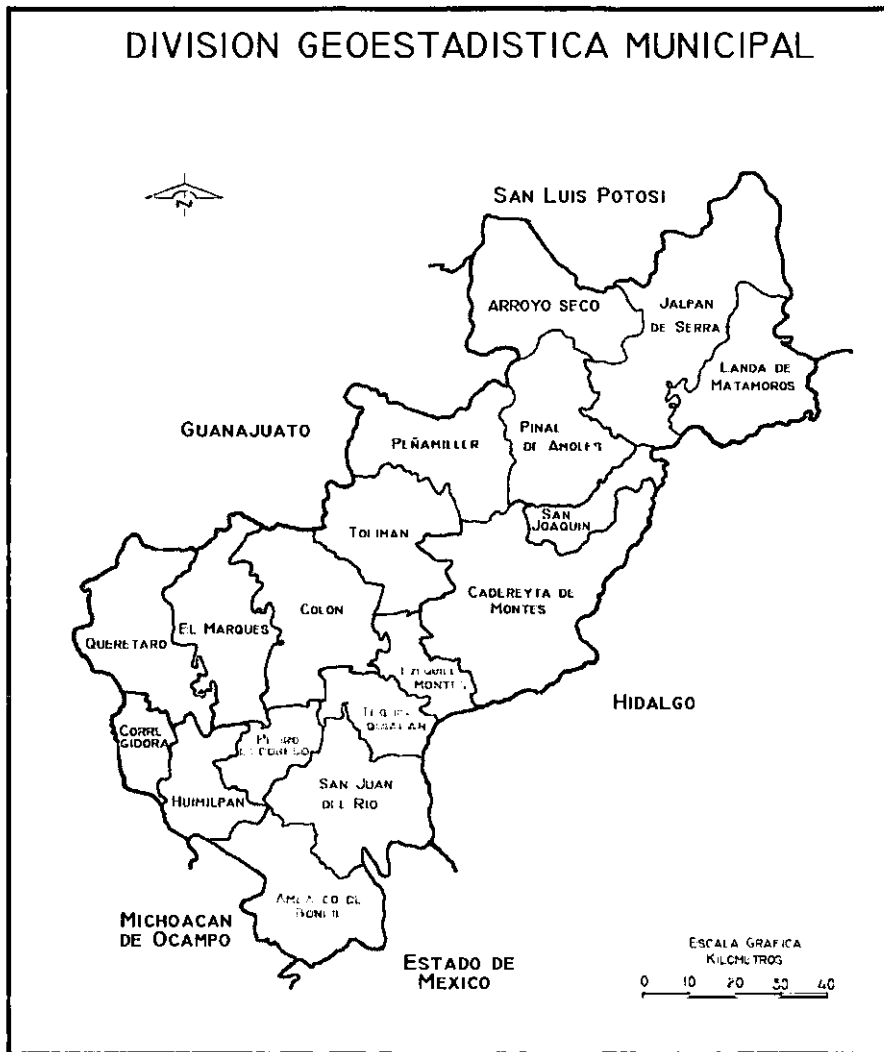
#### *Ubicación de la cuenca*

La cuenca del río San Juan pertenece a la región hidrológica No. 26 Pánuco, y forma junto con las cuencas del río Tula y la Laguna de Meztilán la subregión Alto Pánuco, localizada entre las coordenadas 19° 50' – 20° 45' de latitud norte, y 99° 30' – 160° 15' de longitud oeste.

La cuenca abarca a los estados de México (21.3%), Hidalgo (25.2%) y Querétaro (53.5%). A su vez la parte correspondiente a Querétaro incluye los municipios de: San Juan del Río, Pedro Escobedo, Tequisquiapan, Ezequiel Montes y Amealco, que conforman la zona analizada en el presente trabajo como se muestra en la figura 3.2; la presa El Centenario esta localizada en el municipio de Tequisquiapan.

El cuadro 3.2 presenta la localización, superficie y altitud de los municipios de Querétaro pertenecientes a la cuenca.

Figura 3.2 Municipios de Querétaro que conforman la zona en estudio



Cuadro 3.2 Localización, superficie y altitud de los municipios de Qro. pertenecientes a la cuenca del río San Juan.

Municipio	Localización	Superficie (km <sup>2</sup> )	% de la Superficie Estatal	Altitud (msnm)
Amealco	20° 01' – 20° 23' LN 99° 55' – 100° 18' LO	682	6	2200-3400
Ezequiel Montes	99° 44' – 99° 59' LO 22° 31' LN	278.4	2.3	1800-1200
Pedro Escobedo	20° 21' – 20° 35' LN 100° 19' LO	----	----	1850-1950
San Juan del Río	20° 12' – 20° 31' LN 99° 50' – 100° 12' LO	780	6.9	1920-2200
Tequisquiapan	20° 56' – 20° 39' LN 99° 51' – 100° 04' LO	343.6	2.9	1900-2000

El estado de Querétaro representa el 0.6% de la superficie del país, colinda al norte con Guanajuato y San Luis Potosí, al este con San Luis Potosí e Hidalgo, al sur con Hidalgo, Edo. de México y Michoacán, y al oeste con Guanajuato.

### Clima

En general la cuenca presenta dos condiciones climáticas, del centro hacia el norte de la misma predomina el clima semiseco templado con precipitaciones anuales promedio de 500 mm, mientras que del centro hacia el sur, se presenta un clima templado subhúmedo, con precipitaciones anuales promedio de 800 mm; el promedio anual de la cuenca es de 617 mm. El cuadro 3.3 muestra los climas de la zona en estudio.

**Cuadro 3.3 Características climáticas de la zona en estudio**

Municipio	Tipo de clima	Temperatura media anual (°C)	Temperatura máxima (°C)	Precipitación media anual (mm)
Amealco	Templado húmedo con verano fresco	15	34	728
Ezequiel Montes	Templado cálido	16	-----	580
Pedro Escobedo	Seco a templado	18	33.5	700
San Juan del Río	Templado semiseco con verano cálido	12-18	> 18	572
Tequisquiapan	Seco y templado con verano cálido	12-18	36.2	511.7-600

Fuente: Enciclopedia de los Municipios de México, (Qro.)

### Flora y fauna

Con el surgimiento de los aprovechamientos agrícolas y el desarrollo industrial, la zona se ha visto seriamente afectada, permaneciendo únicamente las especies con gran capacidad de adaptación y en zonas geográficas muy reducidas.

La vegetación que predomina es el mezquital y el pastizal, existiendo pequeños manchones de bosques de latifoliadas con pino muy escaso. Se tienen algunas zonas con vegetación compuesta por cactus, nopales, órganos, cardones, garambullos, etc. El cuadro 3.4 presenta la vegetación que predomina en la región.

**Cuadro 3.4 Vegetación predominante de la zona en estudio**

Nombre común	Nombre científico
Mezquite	<i>Prosopis laeviginata</i>
Huizache chino	<i>Acacia tortuosa</i>
Huizache	<i>Acacia farneciana</i>
Garambullo	<i>Mirtilloctactus geometriznas</i>
Nopal	<i>Opuntia streptacantha</i>



La fauna nativa de la zona de estudio, actualmente tiene su hábitat restringido a 1300 ha de bosque, y en menor escala a las zonas de riego y medio rural. Esta conformada por mamíferos, reptiles, batracios y de manera muy escasa por peces. Se estima una migración anual de aproximadamente 20 000 aves entre las que destacan: gallaretas, cercetas y patos de diversos géneros. El cuadro 3.5 muestra las principales especies faunísticas de la zona en estudio.

**Cuadro 3.5 Principales especies faunísticas de la zona de estudio**

NOMBRE	OBSERVACIONES
<b>Mamíferos</b> lobo coyote zorra cacomixtle mapache tejón martucha zorrillo, comadreja, conejo, liebre, tlacuache, ardilla, hurón, armadillo, murciélago	Extinto Sólo en el área boscosa Preferentemente en el área boscosa  Extinta
<b>Aves</b> paloma, tórtola, codorniz aguillilla tordo, cuervo, zopilote, tecolote, lechuza, tzentzontle, calandria, gorrión	Ubicada en la zona boscosa
<b>Reptiles</b> víbora de cascabel, coralillo, lagartijas, camaleón	
<b>Batracios</b> ranas  sapos	Extinta en la zona de San Juan del Río y Tequisquiapan
<b>Peces</b> bagre carpa	Extintos en la zona de San Juan del Río y Tequisquiapan

### Hidrología

El río San Juan se forma con la confluencia de los ríos Arroyozarco y Prieto. El río Arroyozarco tiene su origen en el cerro de San Nicolás, a 2,750 msnm, con una dirección noroeste y recorre una distancia de 74 km hasta su confluencia con el río Prieto, en este sitio cambia de dirección hacia el norte y recorre 14 km antes de llegar a la población de San Juan del Río; 12 km aguas abajo de esta población cambia de dirección hacia el noreste, recorriendo 18 km hasta su confluencia con el río Tula. El recorrido total desde su nacimiento es de 174 km.

**Principales afluentes**

En la margen izquierda vierten su caudal los ríos Galindo, La "H" y el arroyo La "D", los que confluyen al colector principal por medio de los drenes El Caracol y La Culebra; otras aportaciones de menor importancia son las de los ríos Arroyos Ajuchitán y Cadereyta.

Por la margen derecha, el río San Sebastián aporta sus aguas en la parte alta (cuando el colector principal aún lleva el nombre de río Arroyozarco), mientras que el río Hondo aporta sus aguas en la parte baja, a 1600 msnm, 17 km antes de la confluencia del río San Juan con el río Tula.

El volumen anual de escurrimiento de la cuenca del río San Juan es de 114,289 Mm<sup>3</sup>. El cuadro 3.6 y la figura 3.3 presentan las regiones hidrológicas que se ubican dentro del estado de Querétaro.

**Cuadro 3.6 Regiones hidrológicas en el estado de Querétaro**

Región	Cuenca	% de la superficie estatal
RH 12 Lerma-Santiago	Río Lerma-Toluca	1.69
	Río Laja	19.61
RH 26 Pánuco	Río Tamuín	23.71
	Río Moctezuma	54.99

**Figura 3.3 Ubicación de las regiones y cuencas hidrológicas en el estado de Querétaro**



### Geología

El estrato superficial de la cuenca está constituido principalmente por rellenos aluviales de granulometría irregular, en el estrato interior se encuentran rocas basálticas fracturadas de permeabilidad alta y porosidad media, o por rocas de composición andesítica de permeabilidad media y porosidad baja.

### Suelo

Los suelos de la región en estudio son de profundidad media en los valles (60 cm aproximadamente), su textura es fina, de cohesión media y están conformados por una mezcla de arcilla, limo y arena. La pendiente media es baja (menor al 5%).

Las zonas altas se caracterizan por suelos profundos (10-15 cm), depositados sobre rocas de origen volcánico (basaltos y andesitas), la pendiente es de media a alta (30-50%). El cuadro 3.7 muestra el tipo de suelo en los municipios que comprenden la zona de estudio.

**Cuadro 3.7 Tipo de suelo en los municipios de la zona en estudio**

MUNICIPIO	TIPO DE SUELO
<b>Amealco</b>	Se observan cuatro tipos de suelo: El primero tiene una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrientes, el segundo presenta acumulaciones de arcilla con coloraciones rojas y amarillas, el tercero presenta un subsuelo rocoso con formaciones de terrones y acumulación de arcilla, por último existe un suelo arenoso con profundidad menor a los 10 cm.
<b>Ezequiel Montes</b>	Combinaciones de arcillas con limo y arena, con mezclas en menor proporción de caliza, formando texturas delgadas.
<b>Pedro Escobedo</b>	Compuestos con arcilla y arena combinadas con limo, llamados comúnmente de textura fina
<b>San Juan del Río</b>	Suelos de textura pesada, con formación de grietas profundas. En los primeros 30 cm se tiene una textura fina, con presencia de arcilla en combinación con limos y arenas.
<b>Tequisquiapan</b>	Arcilla de barro con una textura pesada; este suelo desarrolla grietas profundas (de 1 cm de ancho hasta una profundidad de 50cm) propias de los vertisoles.

### Acuíferos

En la cuenca se tienen cinco acuíferos de tipo libre o semiconfinado que abarcan un total de 1 925 km<sup>2</sup> y representan el 35% de la superficie total de la cuenca.

La recarga media anual de los cinco acuíferos es de aproximadamente 390 Mm<sup>3</sup>.

## Usos del agua

### a) Aguas superficiales

La figura 3.4 muestra la distribución de los usos del agua por tipo de fuente, y el consumo. La demanda total de aguas superficiales en la cuenca del río San Juan se estima en 250 Mm<sup>3</sup>, distribuidos de la siguiente manera:

**Sector Agrícola.** Para este sector se demandan 207 Mm<sup>3</sup> anuales, de los cuales, 83 Mm<sup>3</sup> (40%) se destina a distritos de riego y 124 Mm<sup>3</sup> (60%) se utiliza en unidades de riego particulares.

**Sector Agua Potable.** En este sector se aprovechan 8 Mm<sup>3</sup> al año, que representan el 4% de la demanda total de aguas superficiales. Este volumen proviene de manantiales y es usado principalmente por comunidades rurales.

**Sector Industrial.** A excepción del sector eléctrico no existe aprovechamiento de aguas superficiales con fines industriales. El volumen de agua utilizado no se contabiliza, ya que es un uso consuntivo.

En la cuenca existen dos plantas hidroeléctricas, la de Las Rosas ubicada aguas abajo de la derivadora Paso de Tablas, y la de Zimapán, situada en la parte más baja de la cuenca, en la confluencia del río San Juan con el río Tula.

### b) Aguas subterráneas

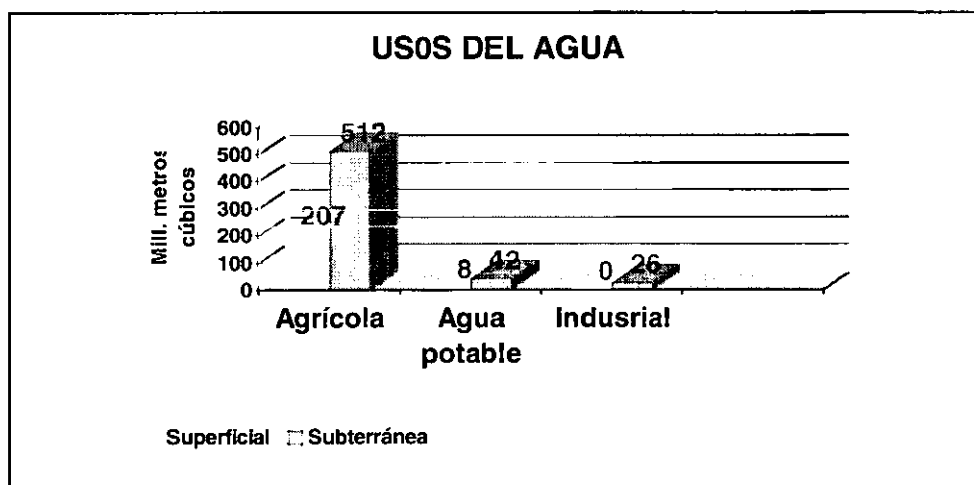
Se tienen identificados 1 289 aprovechamiento de aguas subterráneas en la cuenca del río San Juan, de los cuales se utiliza un total de 580 Mm<sup>3</sup> al año, que se distribuyen en la siguiente forma:

**Sector Agrícola y Pecuario.** Para esta actividad se destinan 512 Mm<sup>3</sup> anuales (88% del total).

**Sector Público Urbano y Doméstico.** En este sector se aprovechan 42 Mm<sup>3</sup> al año (7% del total).

**Sector Industrial.** Se aprovechan 26 Mm<sup>3</sup> anuales (5% del total).

Figura 3.4 Distribución de los usos del agua en la zona en estudio



### *Balance oferta-demanda*

#### a) Aguas superficiales

Las aguas superficiales que se pueden ofertar están limitadas por la capacidad útil de almacenamiento de las presas existentes en la cuenca, la cual equivale a 314.4 Mm<sup>3</sup> al año.

La demanda total de agua en la cuenca se estima en 215 Mm<sup>3</sup>; existiendo un volumen disponible de 99.4 Mm<sup>3</sup>/año.

Aunque, debe tomarse en cuenta que el excedente, o parte de este, se utiliza en la generación de energía eléctrica y que aguas abajo de la presa Paso de Tablas existen otros usuarios con derecho a utilizar esas aguas.

#### b) Aguas subterráneas

La recarga anual estimada en los cinco acuíferos de la cuenca es de 580 Mm<sup>3</sup>, existe una sobreexplotación de 190 Mm<sup>3</sup>.

### *Balance del gasto de escurrimiento (estiaje, aforo 28 y 29 de abril de 1999)*

Como se mencionó anteriormente, el río San Juan se forma en la confluencia de los ríos Arroyozarco y Prieto, a partir de este sitio fluye hacia la presa derivadora Constitución de 1917, que a su vez, vierte al río San Juan un gasto de 1.5 m<sup>3</sup>/s que es extraído en su totalidad en la presa derivadora Lomo de Toro y conducido por el canal del mismo nombre para riego de terrenos del DR 023. Por lo cual, el gasto en el río San Juan, en el tramo comprendido entre la derivadora Lomo de Toro y la población de San Juan del río es nulo.

Al pasar por la población de San Juan del Río recibe sus descargas tanto municipales como industriales, aportando en conjunto un gasto de 392 l/s. A casi 10 Km aguas abajo, recibe por su margen izquierda un caudal de 15 l/s de la población de San Pedro Ahuacatlán, por lo que su caudal alcanza los 407 l/s.

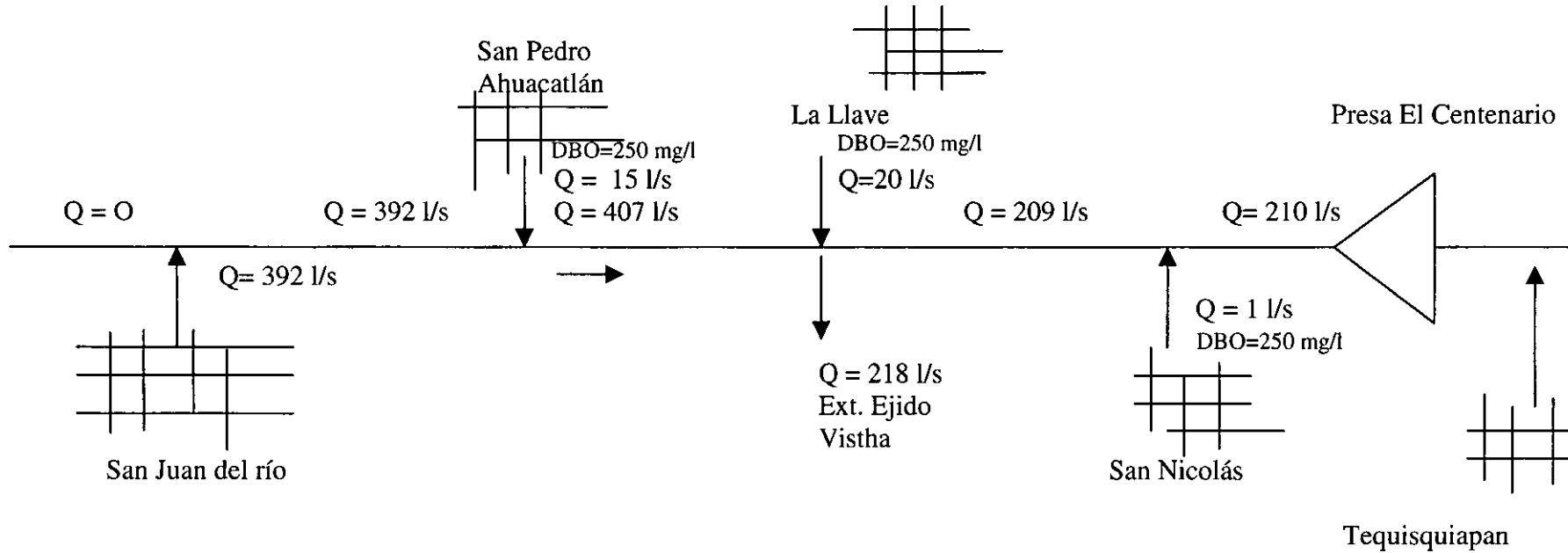
De este lugar, recorre aproximadamente 5 km y después recibe 20 l/s provenientes de la presa La Llave que contiene aguas residuales del poblado del mismo nombre, por lo que su caudal en este sitio es de 427 l/s.

Inmediatamente aguas abajo, se extraen 218 l/s que son utilizados en el riego de los ejidos Vistha y San Nicolás, por lo que el caudal se reduce a 209 l/s.

Finalmente, 5 km aguas abajo de la confluencia del dren La Culebra, recibe un caudal de 1 l/s, proveniente de la localidad de San Nicolás, aumentando su caudal a 210 l/s, mismo que es vertido a aproximadamente 1 km aguas abajo a la presa El Centenario, como se observa en la figura 3.5 que presenta el perfil del río San Juan del tramo comprendido entre las localidades de San Juan del Río y Tequisquiapan.

Figura 3.5 Perfil del río San Juan tramo San Juan del Río – Tequisquiapan

$DBO_{5Promedio} = 250 \text{ mg/l}$



Velocidad	0.125 m/s	0.13 m/s	0.128 m/s	0.04 m/s
Distancia	10 Km	5 km	5 Km	1 Km
Tiempo de Recorrido (días)	0.93	0.45	0.45	0.29
Tramo	I	II	III	IV

### 3.2 Aspectos económicos y sociales

El desarrollo económico y social de la cuenca en estudio es acelerado si se compara con otras zonas del mismo estado, sin embargo aún persisten rezagos que dificultan la recuperación de los recursos naturales.

#### *Población*

La población del estado de Querétaro se estima que ascendió a mediados de 1996 a 1.28 millones de personas. Se ubica en el octavo lugar entre las entidades federativas menos pobladas del país y representa el 1.4% de la población nacional.

Las tendencias demográficas recientes permiten estimar que hasta el presente año la población es de alrededor 1.40 millones de habitantes y será de 1.54 en 2005 y 1.67 millones de personas en 2010.

La tasa de crecimiento demográfico de Querétaro descendió de 2.40% en 1996 a 2.09% en 2000 y se estima que en 2010 será de 1.43%. Esta disminución es similar a la prevista para el total para el país, sin embargo, las tasas de crecimiento de Querétaro seguirán siendo mayores que las nacionales (1.68%, 1.45% y 0.96% para 1996, 2000 y 2010 respectivamente).

El cuadro 3.8 presenta las características poblacionales de los municipios que conforman la zona en estudio.

**Cuadro 3.8 Características poblacionales de los municipios de la zona en estudio**

Nombre	Población (municipio)	Población (localidad)	Tasa de crecimiento poblacional anual (%)*	Población relativa (del municipio)
Amealco	54 638	7 233	1.59	3.90
Ezequiel Montes	27 639	11 373	1.82	1.97
Pedro Escobedo	49 585	7 704	1.42	3.54
San Juan del Río	179 300	98 091	3.02	12.78
Tequisquiapan	49 911	26 217	1.75	3.56

\* Periodo 1995-2000.

Fuente: Censo de Población y Vivienda 2000. Resultados Preliminares. Resultados definitivos tabulados básicos. CONAPO 1995

En promedio, la zona analizada presenta una tasa anual de crecimiento poblacional del 1.92%.

#### *Servicios*

El cuadro 3.9 muestra el estado actual de servicios en los municipios que forman parte de la región analizada.

**Cuadro 3.9 Servicios con los que cuentan los municipios de la zona en estudio**

Municipios	Total de viviendas habitadas	Viviendas particulares habitadas	Viviendas particulares habitadas		
			Con energía eléctrica	Con agua entubada	Con drenaje
Amealco	9 936	9 320	6 311	6 443	2 262
Ezequiel Montes	4 800	4 796	4 430	4 142	2 885
Pedro Escobedo	8 788	8 758	8 293	8 325	4 977
San Juan del Río	31 721	31 672	30 551	29 554	24 200
Tequisquiapan	8 709	8 698	8 274	8 233	6 273

Fuente: Resultados Definitivos Tabulados Básicos. CONAPO. 1995

Con base en el cuadro 3.9, se puede obtener la cobertura en los servicios de agua potable y alcantarillado que se presenta en el cuadro 3.10.

**Cuadro 3.10 Cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado**

Localidad	Cobertura en agua potable (%)	Cobertura en alcantarillado (%)
Amealco	69.13	24.27
Ezequiel Montes	86.36	60.15
Pedro Escobedo	95.06	56.83
San Juan del Río	93.31	76.41
Tequisquiapan	94.65	72.12

### *Población económicamente activa (PEA)*

La población económicamente activa de Querétaro, en 1996 fue de 512.4 miles de personas, 342 mil hombres y 169.9 mil mujeres. Este monto es el noveno más bajo entre las entidades federativas y abarca 1.4% del total nacional.

Querétaro es una de las entidades con mayor participación en la actividad económica, ocupando el 7° lugar en 1996: 38.1% de las personas mayores de 12 años son económicamente activas (79.4% de los hombres y 37.7% de las mujeres).

Se prevé que los niveles de participación masculina en la actividad económica permanecerán constantes en el futuro; en cambio, se supone que la inserción femenina crecerá progresivamente hasta el año 2010.



### *Actividades económicas*

Las principales actividades económicas de los municipios que integran la región objeto de este estudio, son las siguientes:

**Agricultura:** Los principales cultivos son maíz, avena forrajera, cebada, trigo y alfalfa.

**Ganadería:** Engorda de ganado bovino y aves, en menor escala cría y explotación de ganado lechero y de especies menores como caprino, ovino y porcino.

**Fruticultura:** Sobresalen la producción de vid y manzano, le sigue el nopal tunero, nopal pecanero, ciruela, guayaba y durazno.

**Industria:** Generalmente la industria esta constituida por maquiladoras, industrias procesadoras de alimentos, fábricas textiles, de artículos metálicos y beneficiadoras de materiales para construcción.

**Explotación Forestal:** En la zona forestal las especies maderables en orden de importancia son encino, pino y madroño.

## **3.2 Características sanitario-ambientales**

### *Reconocimiento sanitario-ambiental*

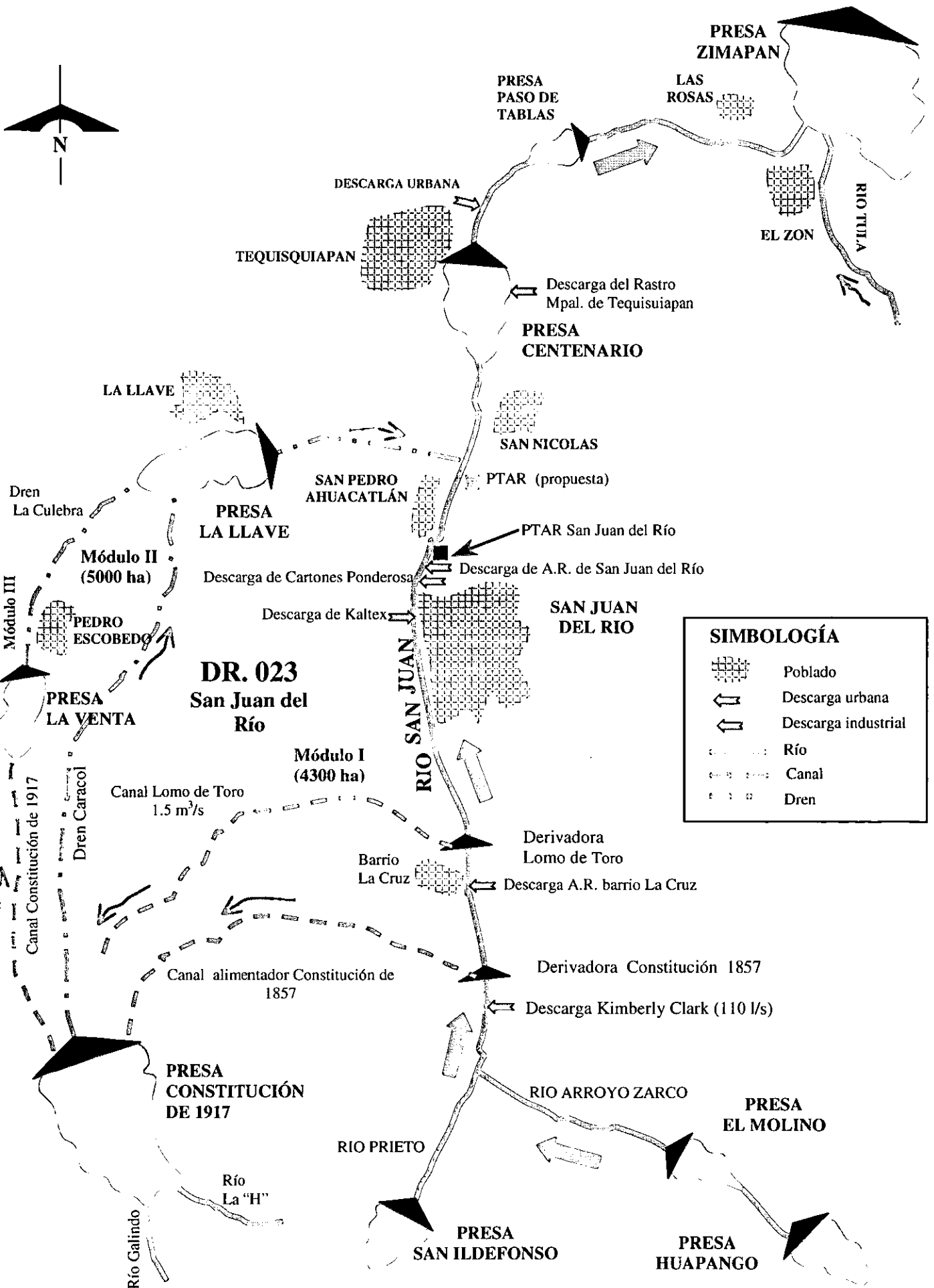
Como se puede observar en el croquis de la figura 3.6, partiendo de la presa derivadora Constitución de 1857 se tienen las siguientes características:

La presa derivadora Constitución de 1857, capta un caudal que fluctúa entre 1.5 y 2 m<sup>3</sup>/s provenientes de la presa San Idefonso, a través del río Prieto, y además recibe la descarga de aguas residuales tratadas de la empresa Kimberly Clark, con un gasto promedio de 110 l/s.

La estructura de descarga de Kimberly Clark permite conducir sus aguas residuales hacia tres sitios: al embalse de la presa Constitución de 1857, al canal alimentador que se conecta con la presa Constitución de 1917, o bien, directamente al río San Juan; el sitio de recepción de esta agua se designa de acuerdo a la demanda de riego. Si el agua se incorpora al embalse de la presa Constitución de 1857, de allí se conduce a través del cauce del río hacia la derivadora Lomo de Toro; en caso de ser conducidas por el canal alimentador se utilizan para regar 180 ha cuando existe demanda en esta zona y la presa Constitución de 1917 recibe el excedente o en su caso la totalidad del caudal.

Siguiendo el sentido de la corriente del río San Juan, aguas abajo de la derivadora Constitución de 1857, se encuentra la derivadora Lomo de Toro, de este sitio parte un canal del mismo nombre que conduce la totalidad del gasto (1.5 a 2 m<sup>3</sup>/s) que son utilizados en el riego ( Módulo I del Distrito de Riego 023). Por consiguiente, a partir de la derivadora Lomo de Toro el caudal del río es nulo en época de estiaje y no presenta gasto alguno hasta la zona urbano-industrial de San Juan del Río.

Figura 3.6 Croquis. Cuenca del río San Juan, Qro.



Aproximadamente a 11.5 km aguas abajo de la presa derivadora Lomo de Toro, el río San Juan recibe las descargas industriales ("previamente tratadas") de Productos San Juan (productos lácteos) y Kaltex (industria dedicada al teñido de telas). Aguas abajo, se incorporan al río las descargas de aguas residuales (sin tratamiento) del colector municipal de San Juan del Río, de las colonias Vegas del Río, Espíritu Santo, La Herradura, Los Manantiales y El Carrizo; además de las descargas industriales de Quimoproc y Cartones Ponderosa, ésta última vierte sus aguas al río previamente tratadas.

Producto de todas estas descargas, el caudal transportado por el río es en promedio de 392 l/s, tal zona es la de mayor contaminación, presentado en promedio una DQO de 450 mg/l y ausencia de oxígeno disuelto.

Después de San Juan del Río, aproximadamente a 10 km aguas abajo, vierte sus descargas municipales la población de San Pedro Ahuacatlán con un caudal de aproximadamente 15 l/s.

El gasto conducido por el río San Juan en este sitio es en promedio de 407 l/s. Aguas abajo se reciben 20 l/s provenientes de la presa La Llave que contiene aguas residuales del poblado del mismo nombre y los retornos agrícolas del Distrito de Riego, por lo que en este lugar el río San Juan conduce un gasto promedio de 427 l/s.

Aproximadamente a 5 km aguas abajo, los ejidos Vistha y San Nicolás extraen del río un caudal de 218 l/s para riego de sus terrenos.

Finalmente, el río San Juan recibe las descargas de la población de San Nicolás que aporta 1 l/s, aproximadamente y del rastro municipal de Tequisquiapan (que vierte sus aguas residuales directamente en el vaso de la presa El Centenario).

De lo anterior, se deduce que la presa El Centenario recibe un caudal de descargas neto de 210 l/s, con una DQO promedio de 457 mg/l y ausencia de oxígeno disuelto. La calidad del agua del efluente de la presa en DQO es de 350 mg/l, por lo que se lleva a cabo una remoción de contaminantes en la presa El Centenario, de aproximadamente el 22%.

Cabe mencionar que de enero a marzo de 1999, se presentaron varios decesos de patos que de acuerdo a la sintomatología fueron afectados por Botulismo aviar tipo "C", sin descartar que podría tratarse de alguna intoxicación aguda por plomo o algún otro metal pesado.

#### *Aplicación del cuestionario*

A continuación se muestra el cuestionario presentado en la sección 2.2.2, el cual fue contestado durante el desarrollo de la visita de campo.

**CUESTIONARIO DE INSPECCIÓN DE PRESAS  
PARA VIGILANCIA Y EVALUACIÓN DE RIESGOS SANITARIO-AMBIENTALES**

**DATOS DE LA PRESA**

NOMBRE Presa El Centenario ESTADO Querétaro MUNICIPIO Tequisquiapan  
CAPACIDAD 9.0 Mm<sup>3</sup> (NAMO) TIPO DE CORTINA Mampostería REGIÓN HIDROLÓGICA # 26

**1. CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS (Cuenca tributaria)**

Relieve --- Tipo de suelo arcillas y limos (vaso)  
Erosión: Alta --- Media X (Sólo en los inicios de la cuenca) Baja ---

**2. FACTORES CLIMÁTICOS**

Temperatura (°C): Máxima 34 Media 16 Mínima 3-18  
Precipitación Media anual(mm) 617 Mínima mensual(mm) --- Máxima mensual (mm) ----

**3. VEGETACIÓN**

Si no se dispone de los porcentajes de área que ocupan, ordenar con un número (del 1 al 3) de acuerdo a su prevalencia  
Cuenca tributaria.

Bosque --- (%del área tributaria) Pastizal --- (% del área tributaria) Tierra cultivable X principalmente(%)

Aguas abajo

Bosque --- (%del área tributaria) Pastizal --- (% del área tributaria) Tierra cultivable X principalmente (%)

**4. FAUNA (terrestre y acuática)**

a) Aguas arriba: (Mencione las tres especies principales)

Mamíferos ganado vacuno, conejo, tejón  
Aves (nativas y migratorias) pollo, paloma, tórtola  
Peces Sólo existen algunas especies en la presa Constitución de 1917

b) Embalse: (Mencione las tres especies principales)

Aves (nativas y migratorias) Varios tipos de patos como cercetas y gallaretas (migratorias), palomas y tordos  
Peces No sobrevive ninguna especie por la mala calidad del agua  
Crustáceos No sobrevive ninguna especie por la mala calidad del agua

c) Aguas abajo: (Mencione las tres especies principales)

Mamíferos ganado vacuno, liebre, tlacuache

Aves (nativas y migratorias) paloma, tórtola, codorniz

Peces ---, ---, ---

d) Antecedentes de epizootias ocurridas en la presa y su entorno : Patos afectados por Botulismo Aviar en el vaso de la presa

Especies en peligro de extinción y su principal causa Algunas especies de peces como el bagre y la carpa en la zona de San Juan del río y Tequisquiapan, debido a la baja calidad del agua

## 5. FLORA

a) Aguas arriba: (Mencione tres especies principales)

Terrestre huizache, cardo, ahuehuete

Acuática ---, ---, ---

b) Embalse: (Mencione las tres especies principales)

Terrestre mezquite, huizache, pastizal

Acuática existe maleza acuática sólo eventualmente

c) Aguas abajo: (Mencione las tres especies principales)

Terrestre huizache, cardo, ahuehuete

Acuática ---, ---, ---

## 6. POBLACIÓN (urbana y rural)

Urbana:

Nombre	Habitantes	Ubicación
<u>San Juan del Río</u>	<u>98 091</u>	<u>aprox. 21 km aguas arriba del vaso</u>
<u>Tequisquiapan</u>	<u>26 217</u>	<u>aguas abajo del vaso</u>

Rural

Nombre	Habitantes	Ubicación
<u>San Nicolás</u>	<u>3 103</u>	<u>aprox. 1 km aguas arriba del vaso</u>
<u>San Pedro Ahuacatlán</u>	<u>-----</u>	<u>aprox. 11 km aguas arriba del vaso</u>

**CROQUIS DE LA PRESA Y SU ÁREA DE INFLUENCIA**

(Ver figura 3.6)

**7. USOS DEL AGUA**

a) Aguas arriba (aprovechamiento de los afluentes de la presa)

Si no se dispone de las cantidades, ordenar con un número (del 1 al 3) de acuerdo a su prevalencia

Público Urbana \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s, Industrial \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s, Riego X (único uso) m<sup>3</sup>/s,

Otros usos: (piscícola, recreativa, etc.) Ningún otro uso

b) Aguas abajo

Público Urbano \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s Industrial \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s Riego X (único uso) m<sup>3</sup>/s,

Otros usos: (piscícola, recreativo, etc.) Ningún otro uso

Plantas potabilizadoras (descripción y operación, etc.)  
 -----  
 -----

Diagrama de flujo (proceso) de las plantas:

**8. DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES**

**Descargas municipales \***

Localidad	No. Habitantes	Ubicación descarga	Gasto (m <sup>3</sup> /s)	Tratamiento*
<u>San Juan del Río</u>	<u>98 091</u>	<u>Al norte de la ciudad</u>	<u>Aprox. 250 l/s</u>	<u>No reciben trat.</u>
<u>San Nicolás</u>	<u>3 103</u>	<u>Aprox. 1 km aguas arriba del vaso</u>	<u>Aprox. 1 l/s</u>	<u>No reciben trat.</u>
<u>San Pedro Ahuacatlán</u>	<u>- - -</u>	<u>Aprox. 11 km aguas arriba del vaso</u>	<u>Aprox. 15 l/s</u>	<u>No reciben trat.</u>

**Descargas Industriales \***

Industria	Giro	Ubicación descarga	Gasto (m <sup>3</sup> /s)	Tratamiento*
<u>Kimberly Clark</u>	<u>Papel</u>	<u>Presa Const. 1857</u>	<u>Aprox. 110 l/s</u>	<u>reciben trat.</u>
<u>Kaltex</u>	<u>Textil</u>	<u>11.5 km a. a presa Lomo de Toro</u>	<u>- - -</u>	<u>trat. ineficiente</u>
<u>Cartones Ponderosa</u>	<u>Papel</u>	<u>Al rt.e de la cd. De San Juan del Río</u>	<u>- - -</u>	<u>trat. adecuado</u>

**Descargas agrícolas\***

Nombre	Superficie (ha)	Ubicación descarga	Gasto (m <sup>3</sup> /s)	Tratamiento*
<u>DR 023 Módulo II</u>	<u>- - -</u>	<u>Presa la Llave</u>	<u>- - -</u>	<u>No reciben trat.</u>

\* Si las aguas residuales están sujetas a tratamiento, describir las características de la planta, anexar diagrama de flujo y los resultados de los análisis de calidad.

Anexar croquis donde se indiquen las descargas

d) Fecalismo sobre el suelo No se presenta

e) Antecedentes de contaminantes químicos tóxicos No existen

### 9. ENFERMEDADES DE ORIGEN HÍDRICO MÁS FRECUENTES

Localidad	Enfermedades de origen hídrico más frecuentes	Epoca del año en que se presentan	Fuente de abastecimiento de agua potable	Existe planta potabilizadora*
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____

(Ver sección 4.1.4 Salud)

\* En caso de existir Planta Potabilizadora anexar su diagrama de proceso.

Antecedentes de brotes epidémicos vinculados con el agua de la presa No existen

### 10. QUEJAS POR CONTAMINACIÓN (molestias sanitarias: piquetes de insectos, olores desagradables, invasión de lirio, color y turbiedad, azolve excesivo)

Si existen quejas por parte de la población por la presencia de los problemas antes citados

### 11. REDUCCIÓN CRÍTICA DE GASTOS (afectación a la biodiversidad)

Durante los meses de octubre a junio, las válvulas permanecen abiertas

### 12. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PRESA (descripción)

A las válvulas se le da mantenimiento una vez por año el cual consiste en engrasado y pintura.

Cada tres años se hacen reparaciones mayores, además del retiro de lirio acuático

### 13. COMENTARIOS.

El agua presenta una considerable contaminación debida principalmente al vertido de aguas residuales sin tratamiento tanto a lo largo del río como en el vaso de la presa, tal situación no permite la existencia de vida acuática ni la utilidad del recurso en otros usos. El único uso que tiene esta agua es para riego agrícola, dando lugar al incremento del riesgo en la salud humana al utilizarla sin previo tratamiento.

**CAPITULO 4**  
**ALTERACIÓN DE LOS FACTORES**  
**SANITARIO-AMBIENTALES EN LA CUENCA**  
**DEL RÍO SAN JUAN, QUERÉTARO.**

**4.1 Valoración de parámetros e índices**

**4.1.1 Agua**

*Índice de Calidad del Agua (simplificado)*

Para la obtención del Índice de Calidad del Agua (simplificado) se considerarán los valores de los parámetros registrados en la entrada al vaso de la presa "El Centenario" y se compararán con aquellos establecidos en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89, con base en los cuales se podrá calificar a los cuerpos de agua como aptos para ser utilizados como fuente de abastecimiento de agua potable, en actividades recreativas con contacto primario, para riego agrícola, para uso pecuario, en la acuicultura o para la protección de la vida acuática.

Ambos grupos de parámetros se muestran en el cuadro 4.1, que para el caso del río San Juan, se elegirán los criterios ecológicos de calidad del agua para riego agrícola. Tales criterios establecen los valores de los parámetros (físicos, químicos y bacteriológicos) que un cuerpo de agua debe tener para ser aprovechado en el riego de todo tipo de cultivo.

**Cuadro 4.1. Valores de los parámetros DBO<sub>5</sub>, DQO y CF (presa y criterios)**

Parámetro	Concentración promedio en la entrada al vaso de la presa (mg/l)	Concentración establecida en los Criterios Ecológicos (CE-CCA 001/89), para riego agrícola (mg/l)
DBO <sub>5</sub>	130	20*
DQO	450	40*
CF	1x10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup>

\* Valores establecidos con base en la experiencia de estudios similares

Aplicando la ecuación 1.10, tenemos:

$$Ica = \frac{1}{3} \left( \frac{130}{20} + \frac{450}{40} + \frac{1 \times 10^5}{1 \times 10^3} \right) = \frac{117.75}{3}$$

$$Ica = 39.25$$



Dado que el valor obtenido en este índice es muy superior a la unidad, se puede concluir que el agua del río se encuentra muy contaminada. Existe un alto riesgo para la vida acuática (peces), situación que se verifica en la presa, ya que a pesar de que en 1995 se sembraron 10 000 peces, ninguno sobrevivió.

#### Cálculo de la carga orgánica remanente

Siguiendo el trayecto del río representado en el "Perfil Hidráulico del río San Juan del tramo San Juan del Río-Tequisquiapan (figura 3.5) y teniendo como base el valor de  $DBO_5$  en la entrada de la presa, así como su valor promedio en la corriente; se puede aplicar la ecuación 1.8, para obtener la constante de degradación de la materia orgánica:

$$L = L_0 e^{-K_1 Tr}$$

despejando  $K_1$ , se tiene:

$$K_1 = -\frac{1}{Tr} \ln \frac{L}{L_0}$$

donde:  $L = 130$  mg/l (carga orgánica en la entrada de la presa)  
 $L_0 = 250$  mg/l (carga orgánica promedio en el río)

$$Tr = \frac{\text{Distancia}}{\text{Velocidad}} = 1.86 \text{ días (tiempo de recorrido San Juan del Río- Presa El Centenario)}$$

sustituyendo valores

$$K_1 = -\frac{1}{1.86} \ln \frac{130}{250}$$

$K_1 = -0.47 \text{ día}^{-1}$  (constante de degradación de la materia orgánica)

Para hacer el análisis de  $DBO_5$ , la región analizada del río San Juan se dividió en cuatro tramos (ver figura 3.5), los cálculos se muestran a continuación:

#### TRAMO I

Haciendo uso de la ecuación 1.8:

$$\begin{aligned} L_0 &= 250 \text{ mg/l} \\ K_1 Tr &= 0.47(0.93) = 0.43 \\ L &= 250 e^{-0.43} = 162.0 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

TRAMO II

Utilizando la ecuación 1.1:

$$L_0 = \frac{162(392) + 15(250)}{392 + 15} = 165.24 \text{ mg/l}$$

$$K_1 \text{ Tr} = 0.47(0.455) = 0.21$$

$$L = 165.24 e^{-0.21} = 134.0 \text{ mg/l}$$

TRAMO III

$$L_0 = \frac{134(407) - 134(218) + 250(20)}{407 - 218 + 20} = 145.10 \text{ mg/l}$$

$$K_1 \text{ Tr} = 0.47(0.45) = 0.21$$

$$L = 145.10 e^{-0.21} = 117.62 \text{ mg/l}$$

TRAMO IV

$$L_0 = \frac{117.62(209) + 250(1)}{209 + 1} = 118.25 \text{ mg/l}$$

$$K_1 \text{ Tr} = 0.47(0.29) = 0.136$$

$$L = 118.25 e^{-0.136} = 103.18 \text{ mg/l}$$

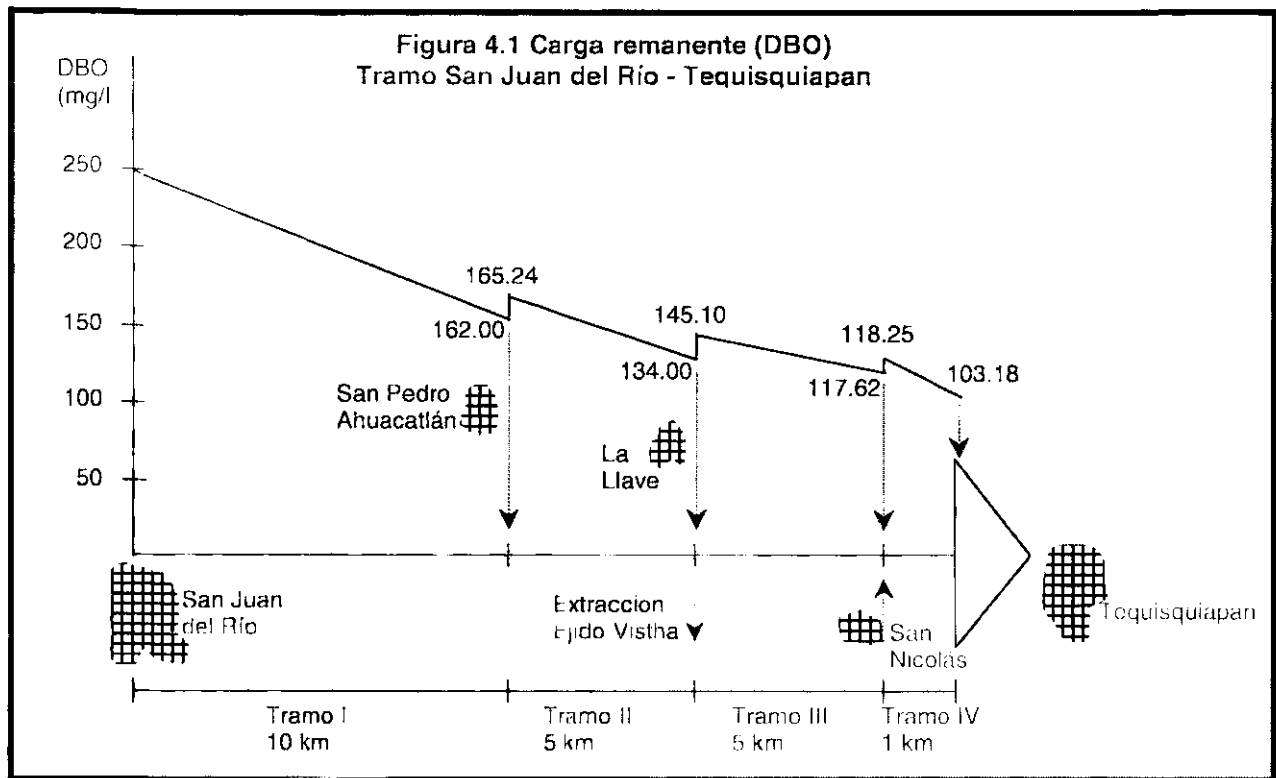
$$\text{Carga L (ton/día)} = L \text{ (mg/l)} \times Q \text{ (l/s)} \times (86400\text{s/día}) \times (1 \text{ ton} / 10^9 \text{ mg})$$

En el cuadro 4.2 se muestra un resumen de los valores de las cargas de DBO remanente para cada uno de los tramos analizados.

**Cuadro 4.2 Resumen de los valores de la carga remanente según los tramos**

Tramo	Carga $L_0$ (mg/l)	Carga $L_0$ (ton/día)	Carga remanente (mg/l)
I. San Juan del Río – San Pedro Ahuacatlán	250.00	8.47	162.00
II. San Pedro Ahuacatlán – La Llave	165.24	5.81	134.00
III. La Llave – San Nicolás	145.10	2.62	117.62
IV. San Nicolás - Presa El Centenario	118.25	2.15	103.18

La figura 4.1 muestra la carga remanente a lo largo del tramo del río analizado.



**Capacidad de asimilación del río San Juan**  
(Tramo San Juan del Río-Tequisquiapan)

**Déficit crítico de oxígeno**

Debido a las condiciones de contaminación existentes en este tramo, no hay presencia de oxígeno disuelto en la corriente, por lo cual, el déficit crítico de oxígeno corresponde al valor del oxígeno de saturación, dado que:

$$D_c = C_s - O_{Dr} \dots\dots\dots Ec. 4.1$$

donde:

- D<sub>c</sub> = déficit crítico en mg/l
- C<sub>s</sub> = oxígeno de saturación
- O<sub>Dr</sub> = oxígeno disuelto en el río

Se considera que el valor correspondiente al oxígeno de saturación es 7.2 mg/l, para una temperatura y altitud promedio de 20°C y 1900 msnm, respectivamente.

Por lo tanto:

$$D_c = C_s = 7.2 \text{ mg/l}$$

**Factor de autopurificación**

El factor de autopurificación se define como:

$$f = \frac{K_2}{K_1} \dots\dots\dots Ec. 4.2$$

donde:

- f = Factor de autopurificación
- K<sub>1</sub> = Constante de degradación
- K<sub>2</sub> = Constante de reareación

Por otra parte, de acuerdo a la velocidad reportada por los aforos, el factor de autopurificación para el tramo analizado del río San Juan se estima en 1.3 día<sup>-1</sup> para la longitud comprendida entre los tramos I al III. La velocidad disminuye en el tramo IV por lo que el valor del factor de autopurificación también decrece llegando a ser f = 1.0. El cuadro 4.3 muestra los valores del factor de autopurificación en función de la velocidad de la corriente.

**Cuadro 4.3 Valores del factor de autopurificación en función de la velocidad**

Naturaleza del agua receptora	f a 20 °C	Velocidad
Estanques pequeños y remansos	0.5 – 1.0	< 0.1 m/s
Corrientes lentas y lagos o represas grandes	1.0 – 1.5	0.1 – 0.3 m/s
Corrientes grandes de baja velocidad	1.5 – 2.0	0.3 – 0.5 m/s
Corrientes grandes a velocidad moderada	2.0 – 3.0	0.5 – 1.0 m/s
Corrientes rápidas	3.0 – 5.0	1.0 – 2.0 m/s
Rápidos y Cascadas	> 5.0	> 2.0 m/s

**Carga crítica asimilada (Lc)**

Esta carga se refiere a la carga máxima en la zona de la mezcla que la corriente puede asimilar para que el déficit crítico de oxígeno no disminuya más allá de un valor prefijado.

En los tramos I, II y III, se tiene:

para f > 1:

$$Tc = \frac{1}{K_1(f-1)} \ln \left\{ f \left[ 1 - (f-1) \frac{D_0}{L_0} \right] \right\} \dots\dots\dots Ec. 4.3$$

$$Lc = \frac{Dc f}{e^{-K_1 Tc}} \dots\dots\dots Ec. 4.4$$

- Lc = Carga crítica expresada como DBO (mg/l) en la zona de la mezcla
- Dc = Déficit crítico de oxígeno
- Tc = Tiempo crítico
- f = Factor de autopurificación
- D<sub>0</sub> = Déficit de oxígeno inicial
- L<sub>0</sub> = Carga orgánica contaminante DBO (mg/l)

En el tramo IV, se tiene:

con  $f \leq 1$ :

$$T_c = \frac{1 - D_0 / L_0}{K_1} \dots\dots\dots \text{Ec. 4.5}$$

$$L_c = L_0 - (K_1 T_c + D_0) e^{-K_1 T_c} \dots\dots\dots \text{Ec. 4.6}$$

Dado que las distancias y los tiempos de retención en cada uno de los tramos analizados son relativamente cortos, se tomará como tiempo crítico (Tc) al tiempo de recorrido. Debido a lo anterior el proceso de autopurificación aún no se completa cuando el río ya está recibiendo otra descarga.

Por otra parte, el oxígeno disuelto mínimo que se desea mantener en el río es de 5 mg/l, valor que se obtuvo de los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para la protección de la vida acuática. En los cuales, se establecen los valores de los parámetros que garantizan la sobrevivencia de los organismos acuáticos evitando el peligro de bioacumulación para prevenir el daño a las especies que forman parte de la cadena alimenticia. Aplicando las ecuaciones 4.4 y 4.6 se obtiene la carga asimilada en cada uno de los tramos en estudio como se muestra en el cuadro 4.4

**Cuadro 4.4 Carga crítica asimilada en los diferentes tramos**

Tramo	D <sub>0</sub> (mg/l)	D <sub>c</sub> (mg/l)	T <sub>c</sub> (días)	f (día <sup>-1</sup> )	e <sup>-K<sub>1</sub>T<sub>c</sub></sup>	Carga asimilada (L <sub>c</sub> ) (mg/l)	Carga asimilada (L <sub>c</sub> ) (ton/día)
I	7.2	2.2	0.93	1.3	0.65	4.40	0.15
II	7.2	2.2	0.45	1.3	0.81	3.53	0.12
III	7.2	2.2	0.45	1.3	0.81	3.53	0.06
IV	7.2	2.2	0.29	1.0	0.87	0.00	0.00

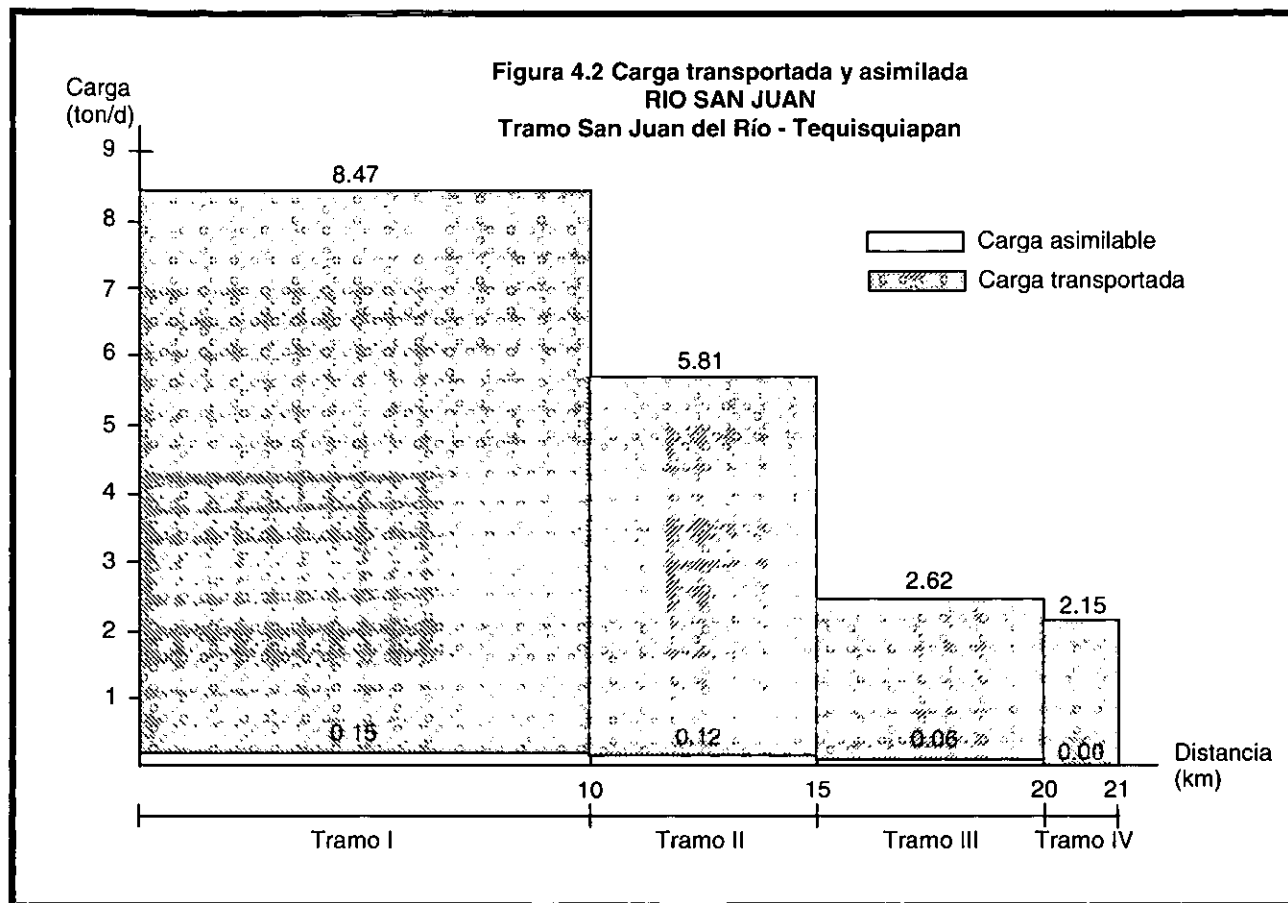
En el cuadro 4.5 se muestran las cargas asimilada y transportada, así como las eficiencias globales requeridas en el tratamiento de las aguas residuales.

**Cuadro 4.5 Carga asimilada, carga transportada y eficiencias de tratamiento requeridas en los distintos tramos analizados**

Tramo	Carga transportada L <sub>0</sub> (ton/día)	Carga asimilable L <sub>c</sub> (ton/día)	Eficiencia de tratamiento requerida (%)
Tramo I	8.47	0.15	94
Tramo II	5.81	0.12	98
Tramo III	2.62	0.06	98
Tramo IV	2.15	0.00	100

Con base en el cuadro 4.5, la eficiencia de tratamiento requerido por el río debe ser en general, mayor del 94%.

En la figura 4.2 se muestran las cargas transportada y asimilada del tramo en estudio.



*Asimilación de carga orgánica en el vaso de la presa.*

Consideraciones:

- El flujo es disperso.
- El tiempo de retención crítico será el volumen útil de almacenamiento dividido entre el gasto promedio de extracción.

Gasto de extracción  $Q_E$  (en estiaje) = 1.3 m<sup>3</sup>/s  
 $Q_E = 1.3 \text{ m}^3/\text{s} \times 86400 \text{ s/día} = 112\,320 \text{ m}^3/\text{día}$

Volumen útil =  $9 \times 10^6 \text{ m}^3$

Tiempo de retención  $Tr = \frac{9 \times 10^6}{112320} = 80 \text{ días}$

*Carga asimilada o de equilibrio*

La carga asimilada o de equilibrio es la carga que se degrada en el vaso y se define como:

$$C_e = \frac{W}{\beta V} C_o \dots\dots\dots \text{Ec. 4.7}$$

- V = volumen útil
- C<sub>o</sub> = carga orgánica en la entrada al vaso de la presa
- W = C x Q Carga contaminante
- β = Factor de degradación

Factor de degradación (β):

$$\beta = K_1 + \frac{1}{Tr} \dots\dots\dots \text{Ec. 4.8}$$

$$\beta = 0.47 + \frac{1}{80} = 0.483$$

- C = 103.18 mg/l (carga en la entrada al vaso de la presa)
- W = 103.18 (mg/l) x 210 (l/s) x 86400 (s/día) x 1 (m<sup>3</sup>/ 10<sup>3</sup> l) = 1.87 x 10<sup>6</sup> mg/l · m<sup>3</sup>/día

$$C_e = \frac{1.87 \times 10^6}{0.483(9 \times 10^6)} (103.18)$$

C<sub>e</sub> = 44.39 mg/l carga asimilada

**Carga remanente en el efluente de la presa = 103.18 – 44.390 = 58.79 mg/l**

*Remanente de coliformes fecales*

- CF en la entrada de la presa = 1x10<sup>5</sup> NMP/100ml
- CF en el vaso de la presa = 1x10<sup>4</sup> NMP/100 ml
- Aplicando la ecuación 1.8:

$$1 \times 10^4 = 1 \times 10^5 e^{-K_b(80)}$$

Despejando la constante de degradación K<sub>b</sub>:

$$K_b = -\frac{1}{80} \ln \left( \frac{1 \times 10^4}{1 \times 10^5} \right)$$

$$K_b = 0.0288 \text{ día}^{-1}$$

Aplicando la ecuación 1.8:

$$CF = 1 \times 10^5 e^{-0.0288(80)}$$

$$CF = 9.98 \times 10^3 \approx 1 \times 10^4 \text{ NMP/100 ml}$$

La concentración de coliformes fecales en el efluente de la presa rebasa el límite establecido en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para riego agrícola ( $10^3$  NMP/100 ml), por lo que el riego debe ser restringido, es decir, se debe evitar la utilización de esta agua en el riego de hortalizas.

#### 4.1.2 Suelo

##### Índice de erosión

Los valores asignados a cada uno de los factores que generan erosión en la zona analizada y que son considerados en la ecuación 1.13 se presentan en el cuadro 4.6.

**Cuadro 4.6 Factores que generan erosión y su correspondiente valor en la zona de estudio**

FACTOR	Valor asignado	Observaciones
Intensidad de lluvia (R)	0.5	En general, las lluvias que se presentan en la región son moderadas
Erosionabilidad (K)	0.2	Existe un grado de erosión de bajo a medio
Longitud de pendiente (L)	0.4	Los cambios de pendiente se desarrollan en longitudes extensas
Gradiente (S)	0.2	Predomina una superficie plana en la zona estudiada
Cubierta Vegetal (C)	0.3	Existe suficiente cubierta vegetal
Control de erosión (P)	1.0	No se realizan acciones para evitar la erosión del suelo
<b>Índice de erosión <math>\Sigma (R,K,L,S,C,P)</math></b>	<b>2.6</b>	Se considera un grado de erosión moderado

##### Índice de productividad

El área tributaria de la cuenca limitada entre San Juan del Río y Tequisquiapan abarca una superficie de aproximadamente 78 000 ha, de las cuales 47 000 ha. pertenecen a terrenos agrícolas, de estas 11 324 ha. son administradas por el Distrito de Riego 023.



Los principales cultivos de la región son: sorgo, trigo, cebada, maíz y frijol. Para el cálculo del índice de productividad del suelo se seleccionarán maíz, frijol y trigo, por ser los que representan mayores ventajas de mercado para los productores.

La productividad de los cultivos seleccionados en la zona en estudio se muestra en el cuadro 4.7.

**Cuadro 4.7 Productividad agrícola de los productos seleccionados, en la zona analizada y a nivel nacional**

Cultivo	Rendimiento (ton/ha)	Promedio nacional (ton/ha)
Maíz	3.5	3.7
Frijol	1.2	1.4
Trigo	5.0	4.7

Aplicando la ecuación 1.14, el índice de productividad del suelo es:

$$Ips = \frac{1}{3} \left( \frac{3.5}{3.7} + \frac{1.2}{1.4} + \frac{5.0}{4.7} \right)$$

$$Ips = 0.96$$

El valor de este índice es ligeramente menor al promedio nacional (4% menor), por lo cual se puede considerar como satisfactorio.

### 4.1.3 Aspecto Social

#### *Índice de marginación*

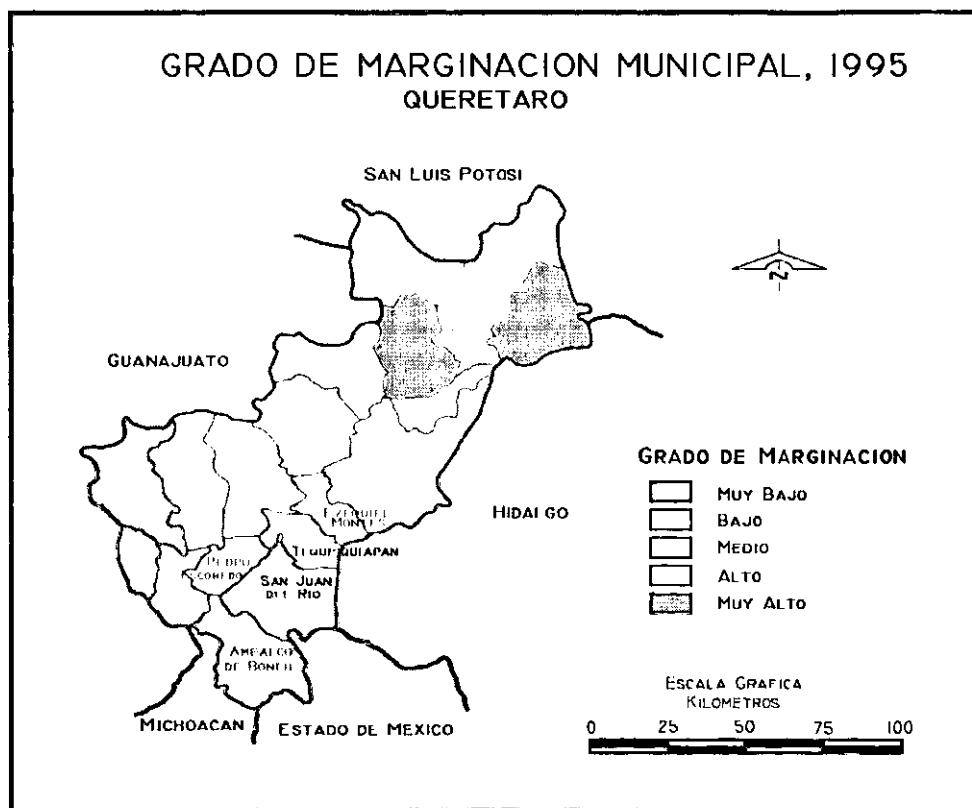
Este índice es obtenido a partir de los Censos de Población y Vivienda del INEGI. En su construcción intervienen otros indicadores representados en forma porcentual de: la población analfabeta, población de 15 años y más sin primaria completa, cobertura de servicios (energía eléctrica, agua potable y drenaje), población en localidades de menos de 5 000 habitantes y población ocupada que gana hasta dos salarios mínimos.

Una vez calculados dichos indicadores socioeconómicos que permiten medir la intensidad que la marginación alcanza en cada una de sus formas, se construye mediante la aplicación de un método estadístico una función que conserve y que refleje la información que aportan, en su conjunto las variables involucradas, por lo que el método de las Componentes Principales responde a los planteamientos anteriores.

De esta forma se obtiene un indicador resumen que cuantifica de manera unidimensional la intensidad del fenómeno, a tal indicador se le llama Índice de Marginación.

El grado de marginación de los municipios que conforman la zona en estudio se muestra en la figura 4.3

**Figura 4.3 Grado de marginación municipal de la zona analizada**



#### 4.1.4 Salud

##### *Índice de morbilidad*

En el cálculo de este índice se han considerado algunas de las enfermedades que tienen como agente de transmisión al agua, principalmente el agua residual, que en la zona de estudio se utiliza sin previo tratamiento en el riego de cultivos. Tales enfermedades se presentan en el cuadro 4.8.

**Cuadro 4.8 Principales enfermedades vinculadas con el uso de aguas residuales en riego**

	Número de casos (1999)			
	Ascariasis	Giardiasis	Oxiuriasis	Otras Helmintiasis
Total Nacional	171 768	22 572	45 614	251 100
Promedio Nacional	5 368	705	1 425	7 847
Querétaro	1 286	252	735	3 769
San Juan del Río	108	53	102	82
Tequisquiapan	108	2	26	7

FUENTE: Secretaría de Salud. Dirección General de Epidemiología

Haciendo una comparación de los niveles de incidencia de estas enfermedades, es decir, dividiendo el número de casos de cada enfermedad entre el número de habitantes del lugar en estudio, se obtienen los resultados contenidos en el cuadro 4.9.

**Cuadro 4.9 Incidencia de enfermedades vinculadas con el agua residual en los municipios afectados**

Entidad	No. habitantes	Incidencia de enfermedades (%)				Total (%)
		Ascariasis	Giardiasis	Oxiuriasis	Otras Helmintiasis	
San Juan del Río	179 300	0.06	0.03	0.06	0.05	0.20
Tequisquiapan	49 911	0.21	0.004	0.05	0.01	0.274
Querétaro	1 402 010	0.09	0.02	0.05	0.3	0.46
Total Nacional	97 361 711	0.17	0.02	0.05	0.26	0.50

Calculando el índice de morbilidad, utilizando la ecuación 1.15:

Para San Juan del Río:

$$I_m = \frac{1}{4} \left( \frac{0.06}{0.17} + \frac{0.03}{0.02} + \frac{0.06}{0.05} + \frac{0.05}{0.26} \right) = 0.81$$

Para Tequisquiapan:

$$I_m = \frac{1}{4} \left( \frac{0.21}{0.17} + \frac{0.004}{0.02} + \frac{0.05}{0.05} + \frac{0.01}{0.26} \right) = 0.62$$

Calculando un promedio ponderado para los dos municipios afectados, se tiene:

$$I_m = \frac{0.81(179300) + 0.62(49911)}{179300 + 49911} = 0.77$$

Como puede observarse, los valores del índice son bajos tanto en el cálculo realizado por separado para cada municipio como en el promedio, lo cual pone de manifiesto la prevalencia de buenas condiciones de salud en la zona de estudio, específicamente en lo relacionado con algunas enfermedades de origen hídrico, a las cuales la población estaría más expuesta por el uso de aguas negras en el riego de terrenos agrícolas.

La baja incidencia de este tipo de enfermedades indica que la utilización de esta agua no produce un impacto considerable en la salud de los habitantes de la región, sin embargo, este factor no deja de representar un riesgo, si no se establecen medidas preventivas necesarias para evitar problemas posteriores.

## **4.2 Identificación de causas y efectos**

Durante el recorrido realizado en la visita de inspección se observaron las siguientes condiciones:

Iniciando en la presa Constitución de 1917, el agua presenta una coloración café claro debida a la existencia de sólidos provenientes del material de arrastre en los ríos que alimentan a esta presa (ríos Galindo y la "H"), esta parte pertenece a los inicios de la cuenca donde la erosión es de moderada a alta, agente que influye en la cantidad de sólidos y la coloración en el agua (Foto 1).

Posteriormente, en la presa derivadora Constitución de 1857 y en el canal alimentador del mismo nombre (Fotos 2 y 3) el agua conserva la misma coloración, en el vaso de esta presa se encuentra la estructura de descarga de Kimberly Clark. Aguas abajo de este lugar se localiza la presa derivadora Lomo de Toro (Foto 4), en donde la coloración del agua es más intensa, además en el vaso se observó exceso de azolves, presencia de vegetación y basura; esta agua puede ser conducida por el canal Lomo de Toro (Foto 5) para el riego del módulo I del DR23, o bien se incorpora al río.

El río San Juan continua su trayectoria y pasa por el Barrio La Cruz donde se observó que la tubería de su sistema de drenaje atraviesa el río San Juan, haciéndose uso de un puente. En este sitio se encuentra un registro al cual esta conectado un tubo de PVC que sirve para descargar directamente al río los excesos o bien la totalidad del agua residual, cuando se hacen labores de mantenimiento y reparación (Foto 6).

Aguas abajo antes de llegar a San Juan del Río se localiza la industria Productos San Juan, cuya descarga no se pudo encontrar en el recorrido de la visita, por lo que se deduce que dicha empresa descarga sus aguas residuales al sistema de alcantarillado de San Juan del Río.

Cerca de este lugar también se encuentra Kaltex, industria que se dedica al teñido de telas (principalmente mezclilla). La empresa descarga sus aguas residuales (parcialmente tratadas) al río San Juan, cabe señalar que esta agua presenta una coloración azul oscuro que le da muy mal aspecto al cauce del río. Además, en la estructura vertedora se observó formación de espuma y presencia de vapor, indicando que su temperatura es mayor a la del río (Fotos 7 y 8).

A partir de este sitio, las características anteriormente expuestas se conservan hasta que se incorpora la descarga (de aguas residuales tratadas) de Cartones Ponderosa, en la cual es evidente que el tratamiento de sus aguas es eficaz (Foto 9), tanto que este caudal está comprometido para el riego de terrenos agrícolas cercanos. La estructura de descarga sólo desaloja el caudal excedente, donde se pueden apreciar a simple vista las diferentes calidades del agua entre ésta descarga y la que conduce el río (Foto 10).

A un lado de la descarga de Cartones Ponderosa se encuentra la de aguas residuales municipales de San Juan del Río conformada por dos colectores (Foto 11). En 1988 fue construida en este sitio la planta de tratamiento municipal, recibiendo el caudal del colector marginal que capta las aguas residuales de la parte baja de San Juan del Río, que por estar mezcladas con otro tipo de descargas y tener un filtro percolador poco eficiente, dicha planta no cumplió con las expectativas. Por otra parte, debido a que el colector se localiza en un nivel más bajo, el agua llegaba a la planta por bombeo, haciendo más costoso el proceso; y así, en febrero de 1994 la planta suspendió su servicio.



Foto 1. Presa Constitución de 1917

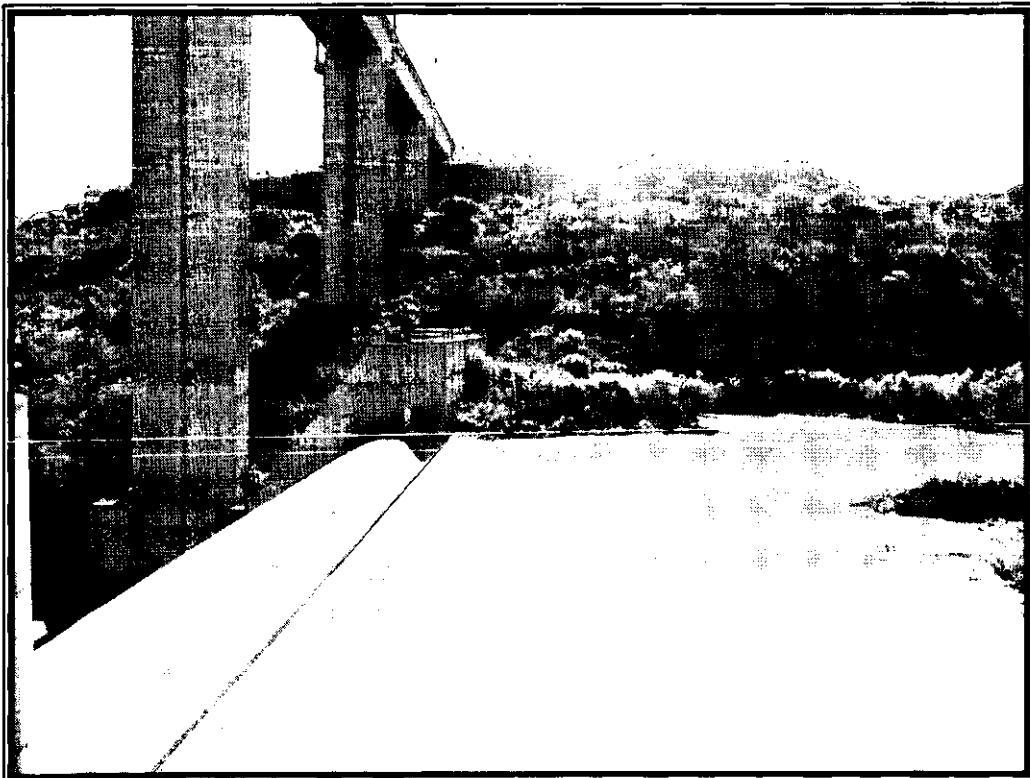


Foto 2. Presa Derivadora Constitución de 1857

INSTITUTO MEXICANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
1978



Foto 3. Canal alimentador Constitución de 1857



Foto 4. Presa Derivadora Lomo de Toro, con exceso de azolves y vegetación



Foto 5. Canal Lomo de Toro



Foto 6. Vista del río San Juan. Puente del Barrio La Cruz



Foto 7. Estructura de descarga de la industria textil Kaltex



Foto 8. Descarga de Kaltex al río San Juan, obsérvese la formación de espuma



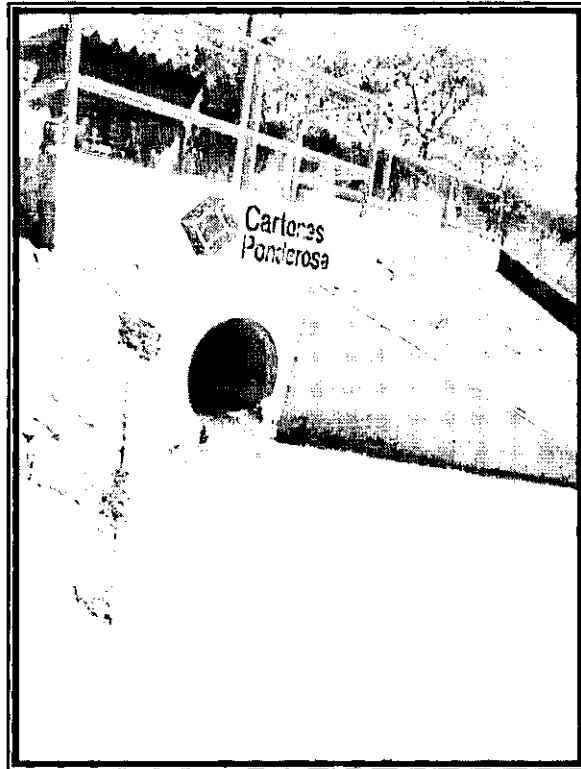


Foto 9. Estructura de descarga de la industria Cartones Ponderosa



Foto 10. Incorporación de la descarga de Cartones Ponderosa al río San Juan, obsérvese la diferencia de color en los caudales

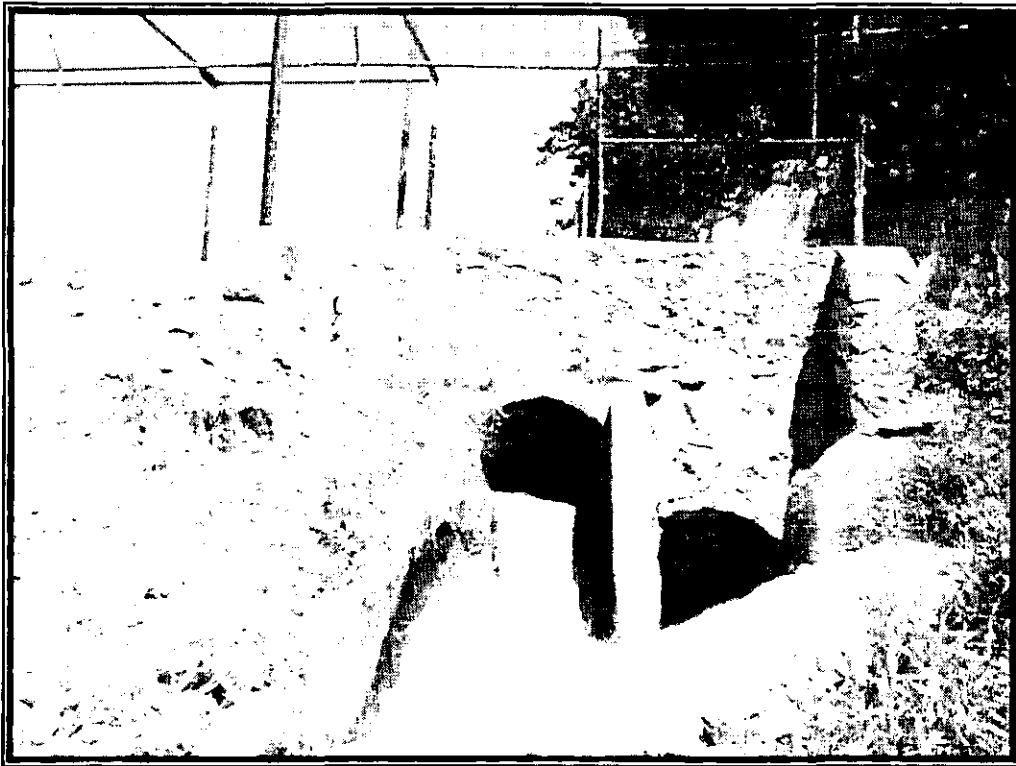


Foto 11. Descarga de A.R. municipales de San Juan del Río a través de dos colectores

Hasta marzo de 2000, se llevo a cabo el proyecto de rehabilitación y rediseño de la planta de tratamiento, tal proyecto consiste en la sustitución del filtro percolador por el sistema de lodos activados con aeración extendida. Además, se construyó el colector oriente que capta las aguas residuales de la parte alta de San Juan del Río y que llega por gravedad a la planta; por lo cual, se deduce que únicamente este caudal recibirá tratamiento, mientras que el proveniente del otro colector seguirá descargando directamente al río sin previo tratamiento, la proporción respecto al caudal total entre ambos colectores es de aproximadamente el 50% cada uno.

Cabe mencionar que el proyecto total esta dividido en dos etapas con las que se puede cubrir en un 67% el tratamiento de las aguas negras del área urbana y conurbada. La primera, en la que se puede lograr el tratamiento del 40% de las necesidades actuales, consta de la rehabilitación de la planta ya existente con capacidad para tratar 125 l/s, expandible a 150 l/s. Esta etapa inició operaciones a finales de septiembre de 2000 estando tres meses en periodo de prueba. La segunda etapa será una ampliación en el mismo terreno para una capacidad de 250 l/s, expandible a 300 l/s, que se espera realizar durante el año 2001.

Aguas abajo el río recibe las descargas municipales de San Pedro Ahuacatlán, de la presa La Llave que contiene aguas residuales del poblado del mismo nombre y finalmente de la población de San Nicolás (Foto 12) que cuenta aproximadamente con 3103 habitantes. Todas estas descargas no reciben tratamiento previo, por lo que en esta zona la coloración y el mal olor se intensifican, debido a que el río transporta el agua residual de todas las poblaciones e industrias antes mencionadas y las distancias entre cada una de ellas son relativamente cortas, factor que influye en el proceso de autodepuración del agua.

Una vez en el vaso, la coloración y el olor son relativamente menores (Foto 13), aunque no dejan de ser importantes. Se identificaron filtraciones en algunas galerías que se encontraban en reparación, en las cuales se forma espuma, indicando la presencia de detergentes en el agua (Foto 14). Otra descarga de aguas residuales que se incorpora directamente al vaso de la presa, es la descarga del rastro municipal de Tequisquiapan que contribuye significativamente en la alteración de la calidad de esta agua (Foto 15).

También, se observó la presencia cultivos agrícolas (maíz y sorgo) en el área de inundación del vaso.



Foto 12. Descarga de A.R. municipales del poblado de San Nicolás

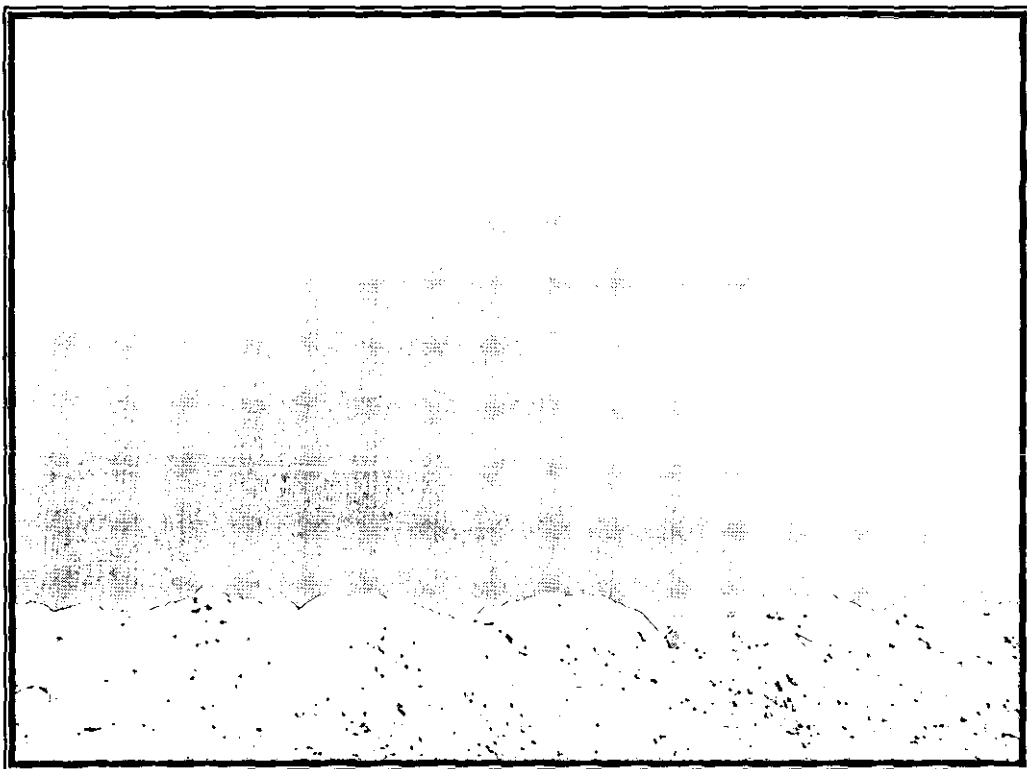


Foto 13. Coloración del agua en el vaso de la presa El Centenario

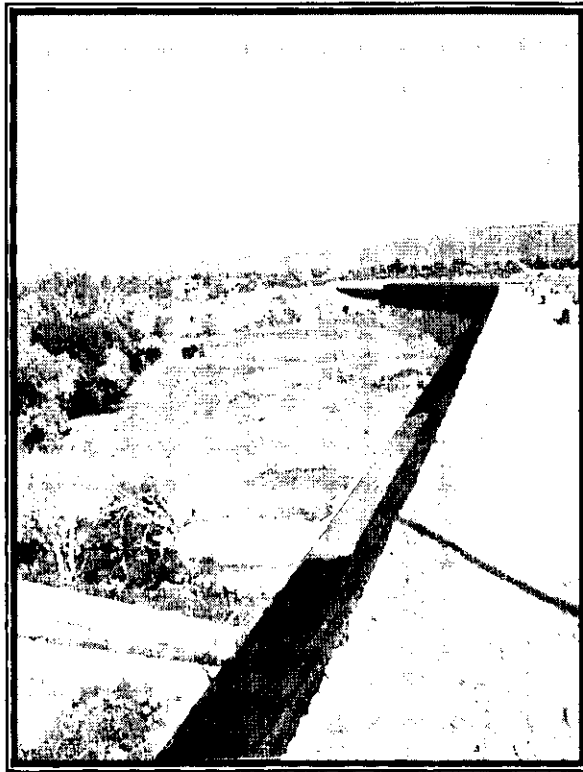


Foto 14. Vista aguas abajo de la cortina, obsérvese la formación de espuma en las filtraciones que presentan algunas galerías



Foto 15. Descarga directa al vaso del Rastro Municipal de Tequisquiapan

### *Emergencia hidroecológica*

Cabe mencionar que de enero a marzo de 1999, se presentaron varios decesos de patos, de una población total de entre 8 000 y 10 000 murieron cerca de 2 710 (el 25%) y 1 535 (15% del total) aves enfermas pudieron recuperarse satisfactoriamente con el tratamiento aplicado (fotos 16 y 17). Los organismos afectados fueron aves acuáticas migratorias del género *Anas* (pato) entre los que se encuentran variedades de cerceta ala verde, tepalcate, tildío, golondrino, gallareta, etc., comunes en esta zona del país por encontrarse dentro de las rutas migratorias de aves. La zona donde se presentó el fenómeno, se localiza en la parte alta de la presa cercana a la desembocadura del río San Juan, esta circundada por terrenos agrícolas y pequeños islotes dentro del área inundada.

De acuerdo a la sintomatología fueron afectados por Botulismo aviar "C", sin descartar que podría tratarse de alguna intoxicación aguda debida a la existencia de plomo o algún otro metal pesado.

Sin embargo, los resultados de calidad del agua de la presa "Centenario" indicaron que únicamente es apta para uso en riego agrícola en cultivos no restringidos por la normatividad y revelaron que no existen problemas toxicológicos atribuibles a metales pesados o productos químicos. Los análisis realizados resultaron negativos para enfermedades virales, aunque, los análisis de antitoxina de botulismo tipo "C" resultaron positivos, por lo que se dictaminó que el principal agente causal de la mortandad esta representado por el botulismo aviar.

El botulismo aviar es una forma de envenenamiento por alimentos, que las aves desarrollan al ingerir una toxina neuroparalizante producida por la bacteria *Clostridium botulinum*. Esta es una bacteria saprófita anaerobia que se localiza frecuentemente en los humedales de agua dulce y salobre.

El botulismo aviar es más probable que ocurra en presencia de temperaturas ambientales altas, niveles de agua fluctuantes y un medio adecuado para el crecimiento bacteriano, tales como cadáveres de vertebrados e invertebrados cerca de las concentraciones de aves. La bacteria del botulismo esta distribuida ampliamente en suelos orgánicos. En la naturaleza subsisten en forma de esporas que resisten condiciones ambientales adversas tales como temperaturas bajas o secas. El desarrollo de estas esporas requiere ausencia completa de oxígeno, intervalos de temperatura de 15 a 36 °C, una fuente de proteína animal y un pH entre 5.7 y 8.0.

Dos de los siete tipos de toxina que ha sido identificados causan comúnmente mortandad en aves silvestres. Una gran variedad de aves y algunas especies de mamíferos son susceptibles a ser afectados por el botulismo tipo "C". Entre las aves silvestres, las aves acuáticas (patos, gansos y cisnes) y las aves ribereñas son las más afectadas. Las aves acuáticas, faisanes y bisones son los que son afectados en cautiverio.

Se han reportado muy pocos casos en perros; sin embargo, los humanos, perros y gatos generalmente son considerados resistentes al botulismo aviar tipo C. La cocción adecuada de los alimentos destruirá cualquier toxina.



Foto 16. Patos afectados por botulismo aviar tipo "C". (enero -marzo1999)



Foto 17. Patos en recuperación

El botulismo aviar afecta el sistema nervioso, causando parálisis muscular; un signo temprano en aves es la incapacidad para volar. Una vez que pierden la capacidad para volar y los músculos de sus patas se paralizan, los patos que sufren de botulismo frecuentemente se impulsan en el agua o en el lodo con sus alas. Esta secuencia de signos es similar al de las aves contaminadas con plomo, las cuales tienen dificultad para volar pero pueden seguir caminando y corriendo.

Sigue la parálisis en el párpado interior y los músculos del cuello. Estos son los signos más fácilmente reconocibles y que están asociados al botulismo aviar. La incapacidad del ave por mantener su cabeza erguida es la razón por la que esta enfermedad es llamada "cuello laxo". Frecuentemente, las aves se ahogarán una vez que alcancen esta etapa de la enfermedad. Los que no se ahogan morirán eventualmente por fallas respiratorias como propagación de la parálisis.

Las medidas necesarias para prevenir este tipo de enfermedades se deben enfocar hacia los factores que contribuyen a su desarrollo: niveles bajos de agua durante los meses cálidos de verano, abundancia de moscas y cadáveres de animales para la producción de toxinas.

Finalmente el cuadro 4.10 resume los valores de los índices anteriormente calculados, incluyendo las causas de su alteración y los efectos que provocan en el entorno, con base en lo observado durante la visita de campo.

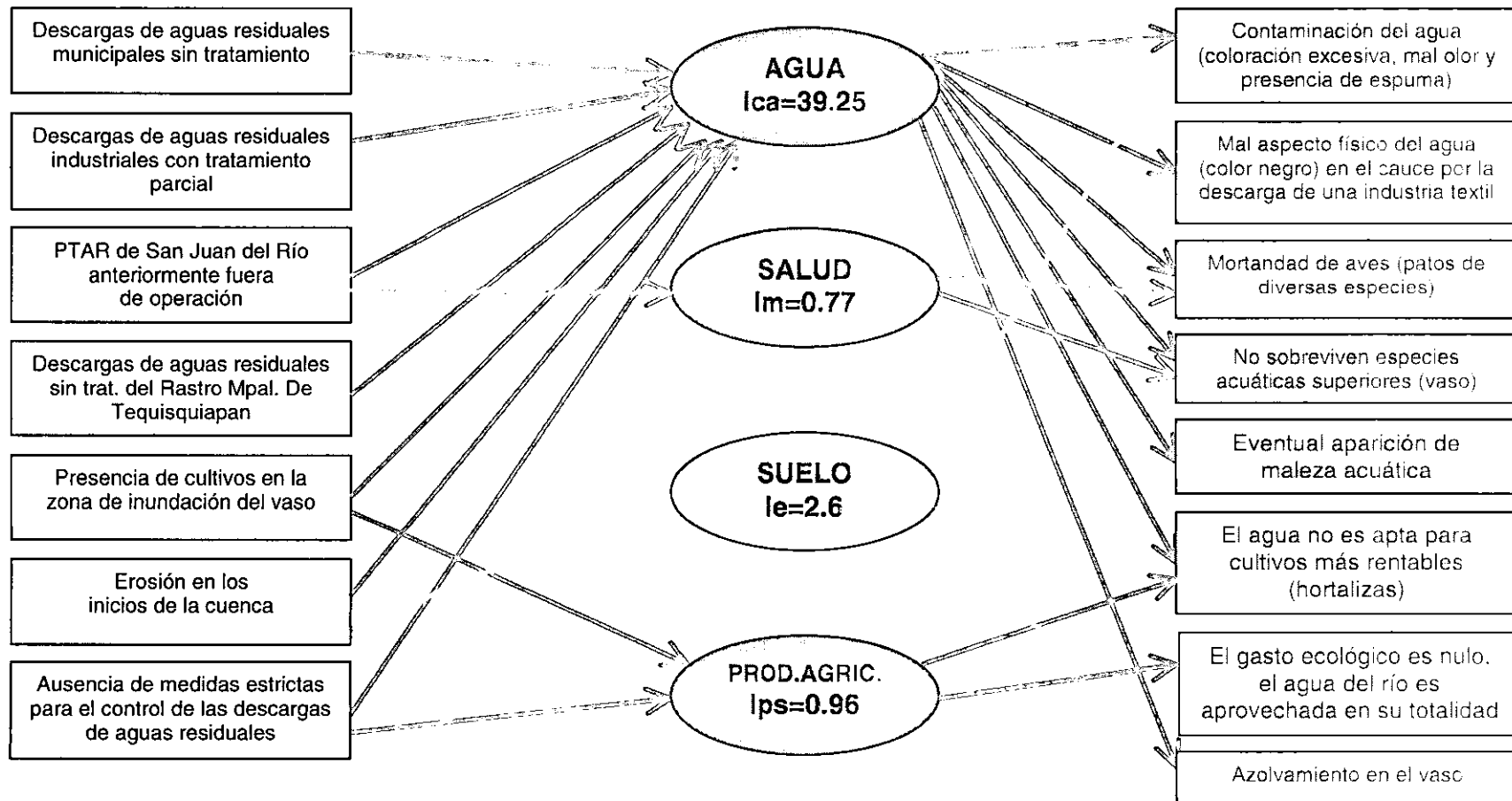


**Cuadro 4.10 Identificación de causas y efectos**  
**Cuenca del río San Juan. Presa El Centenario**

**PROBLEMAS OBSERVADOS  
(CAUSAS)**

**FACTOR AMBIENTAL  
AFECTADO**

**ALTERACIÓN DE LOS FACTORES  
AMBIENTALES  
(EFECTOS)**



### 4.3 Índice de riesgo

Basándose en las características observadas en el trayecto del río (desde la presa Constitución de 1917 hasta la presa Centenario), del uso de esta agua, así como el antecedente referente a la mortandad de patos, y considerando los valores de los parámetros previamente calculados, se determinarán las magnitudes de la calificación del riesgo y su respectiva probabilidad de ocurrencia, para obtener el índice de riesgo de acuerdo a la ecuación 2.1:

$$Ir = Cr \times P$$

donde:

Ir = Índice de riesgo

Cr = Calificación de riesgo

P = Probabilidad de ocurrencia

#### Calificación de riesgo

Haciendo uso del cuadro 2.3, la calificación de riesgo determinada para este caso será:

$$Cr = 1.0$$

Esto debido a las características existentes en la presa y su corriente aportadora, además de los problemas observados en la inspección, los cuales corresponden al grupo de calificación 1.0, como se observa en el cuadro 4.11. Por consiguiente, la zona de estudio se encuentra bajo un riesgo **muy alto**, situación que se hace evidente por el deterioro de la calidad del agua en el río y el embalse.

**Cuadro 4.11 Calificación del riesgo sanitario-ambiental en presas destinadas al suministro de agua potable (salud humana)**

CALIFICACION	CARACTERÍSTICAS INDESEABLES DE LA PRESA	PROBLEMAS OBSERVADOS DURANTE LA INSPECCION	RIESGO	
			NIVEL	SITUACION
1.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Descargas de aguas residuales municipales y/o industriales cuyo caudal conjunto sea mayor al 10% del caudal de estiaje de la corriente.</li> <li>Descarga de colectores (drenes), agrícolas de importancia, &gt;10,000 ha que viertan en forma directa o indirecta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enfermedades y defunciones (epidemia)</li> <li>Molestias sanitarias (quejas por: mosquitos u otros vectores, color y olor de las descargas, presencia de tóxicos)</li> <li>Incremento de microorganismos patógenos (Grupo Coliforme)</li> <li>Malezas acuáticas (eutroficación)</li> <li>Mortandad de peces y/o aves (epizootia)</li> </ul>	Muy Alto	Emergencia
0.9	<ul style="list-style-type: none"> <li>Idem inciso anterior. Cuando el caudal conjunto sea menor del 10% y mayor del 5% del caudal medio de estiaje de la corriente.</li> <li>Descargas de drenes agrícolas por el riego &lt; de 10,000 ha y &gt; 5000 ha, que viertan en forma directa o indirecta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Epidemia o epizootia</li> <li>Malezas acuáticas (eutroficación)</li> <li>Sólo sobreviven especies acuáticas muy resistentes</li> <li>Color, olor y presencia de tóxicos</li> <li>Incremento de microorganismos patógenos (G. Coliforme)</li> </ul>	Alto	Deterioro Severo
0.8				
0.7				
0.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Descargas de AR. municipales y/o industriales con caudal menor del 5% del caudal de estiaje.</li> <li>Descargas de (drenes) agrícolas para el riego &lt; de 5000 y &gt; de 20,000 ha que viertan en forma directa o indirecta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento de microorganismos potencialmente patógenos (G. Coliforme)</li> <li>Color y olor (sustancias tóxicas)</li> </ul>	Medio	Margen de tiempo para sanear
0.5				
0.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Idem. Cuando el caudal sea menor del 4% y mayor del 2% del caudal de estiaje de la corriente.</li> <li>Idem. Riego &lt;2000 ha.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento de microorganismos potencialmente patógenos</li> </ul>	Bajo	
0.3				
0.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Idem. Menor del 2% del caudal de estiaje de la corriente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento moderado de microorganismos potencialmente patógenos (G. Coliforme)</li> </ul>	Muy Bajo	
0.1				

*Probabilidad de ocurrencia*

Según el cuadro 2.4, para una calificación de riesgo correspondiente a un nivel muy alto, se tienen tres opciones para asignar el valor a la probabilidad, que en este caso y de acuerdo a lo observado se cuenta con medidas de atenuación INSUFICIENTES, debido a que el principal agente contaminante es la descarga de aguas residuales tanto municipales como industriales que no tienen un tratamiento previo satisfactorio, por ejemplo:

- La industria Kaltex, cuya descarga aún conserva una coloración fuerte, espuma y una temperatura mayor a la del agua del río
- El vertido de las aguas residuales de San Juan del Río que durante los últimos seis años no recibían tratamiento y su planta municipal rehabilitada se encuentra en periodo de prueba, por lo que todavía no se puede verificar su grado de eficacia
- Las descargas de aguas negras sin tratamiento de las localidades de San Pedro Ahuacatlán, La Llave y San Nicolás
- La descarga del rastro municipal de Tequisquiapan (sin tratamiento)
- En cuanto a las descargas de las industrias Kimberly Clark y Productos San Juan, se desconoce su calidad

De esta manera, el valor de la probabilidad de ocurrencia es  $P = 0.9$ , según se muestra en el cuadro 4.12.

**Cuadro 4.12 Probabilidad de ocurrencia del riesgo, según su calificación y las medidas de atenuación**

CALIFICACIÓN DEL RIESGO		MEDIDAS DE ATENUACIÓN		
DESCRIPTIVA	NIVEL	NINGUNA	INSUFICIENTES	SUFICIENTES
CIERTO	MUY ALTO	0.99	0.9	0.5
PROBABLE	ALTO	0.9	0.7	0.4
POCO PROBABLE	MEDIO	0.6	0.5	0.3
DESPRECIABLE	BAJO	0.3	0.2	0.1
IMPROBABLE	MUY BAJO	0.1	0.09	0.05

Por lo tanto el índice de riesgo para el factor agua según la ecuación 2.1, es en general:

$$I_r = 1.0 \times 0.9$$
$$I_r = 0.9$$

Una vez que se ha obtenido este valor, se calcula el índice de riesgo para cada uno de los demás factores que se ven afectados por el deterioro en la calidad del agua.

Utilizando el cuadro 2.5, se tiene que el uso del agua del embalse es para riego de terrenos agrícolas y que además esta agua no recibe tratamiento previo, con la calificación de riesgo anteriormente determinada, se le asigna la probabilidad de ocurrencia a cada uno de los factores considerados en el cuadro 2.5, dicha probabilidad esta en función del grado de exposición que presenten y del impacto que ejerce la contaminación del agua en cada uno de ellos.

Los valores de probabilidad de ocurrencia considerados para cada uno de estos factores se muestran en el cuadro 4.13.

**Cuadro 4.13. Índice de riesgo, producto de la Calificación por la probabilidad.  
Matriz simplificada**

FACTOR DE AFECTACIÓN		FACTOR O ELEMENTO AFECTABLE					
		Salud Humana		Estabilidad del agua (eutroficación)	Salud animal	Capacidad del embalse	Productividad agrícola
		Epidemias	Molestias	Malezas	Epizootias	Azolve	Baja
<b>A<sub>1</sub> . Abastecimiento de agua potable con depuración parcial</b>							
Descargas de aguas residuales	Crudas Q>10% **						
	Tratadas Q≤10%						
<b>A<sub>2</sub> . Abastecimiento de agua potable con depuración completa</b>							
Descargas de aguas residuales	Crudas Q>10% **						
	Tratadas Q≤10%						
<b>B. Uso en riego agrícola</b>							
Descargas de aguas residuales	Crudas Q>20%	0.90x0.5 <b>0.45</b>	0.9x0.7 <b>0.63</b>	0.9x0.4 <b>0.36</b>	0.9x0.99 <b>0.89</b>		
	Tratadas Q≤20%						
<b>C. Deforestación en la cuenca tributaria</b>							
Suelos con pendiente	Alta-media						
	baja				0.5x0.6 <b>0.30</b>	0.5x0.7 <b>0.35</b>	0.5x0.5 <b>0.25</b>
<b>D. Viviendas con fecalismo sobre el suelo</b>							
Viviendas con letrinas	> 50%	0.4x0.3 <b>0.12</b>	0.4x0.4 <b>0.16</b>	0.4x0.3 <b>0.12</b>	0.4x0.5 <b>0.20</b>		
	<50%						

#### 4.4 Interpretación. Análisis de riesgos

La calificación de riesgo asignada ( $Cr=1$ ), corresponde a la más alta de acuerdo al rango del cuadro 4.11, situación que indica la prevalencia de malas condiciones ambientales en la zona estudiada debido a irregularidades en cuanto al adecuado uso y manejo de sus recursos naturales, principalmente el agua que es el más afectado. La principal característica nociva son las descargas de aguas residuales municipales e industriales, sin un tratamiento previo adecuado o en algunas ocasiones con ausencia del mismo.

Otra característica importante, es que debido a la mala calidad del agua en el embalse no se desarrollan especies acuáticas superiores y el grado de contaminación de la misma influye en la proliferación de bacterias causantes de varias enfermedades que afectan a las aves que arriban al vaso de la presa. Por lo cual, el valor determinado para la calificación de riesgo nos da una idea de la magnitud e intensidad de los problemas ambientales existentes en la zona, que para este caso, en lo referente al agua resultan ser considerables y con un alto grado de afectación.

En cuanto a la probabilidad de ocurrencia, con base en la calificación de riesgo asignada y de acuerdo con el cuadro 4.12, se determinó una probabilidad de 0.9, valor que corresponde a la existencia de medidas de atenuación insuficientes, ya que según lo observado el principal agente contaminante lo constituyen las descargas de aguas residuales que sólo en algunos casos se les somete a tratamiento, sin embargo éste resulta ser insuficiente y deficiente.

El valor asignado a la probabilidad ( $P=0.9$ ) es alto, debido a la presencia de condiciones desfavorables que alteran la calidad del agua, y de seguir persistiendo tal situación la probabilidad de que ocurran severos daños en este recurso será cada vez mayor.

En cuanto a la probabilidad de ocurrencia para los demás factores ambientales que resultan afectados por la mala condición del agua, se tiene lo siguiente:

*Salud humana.* La probabilidad considerada es de 0.5 (epidemias) y 0.7 (molestias), valores que se determinaron con base en la incidencia de enfermedades de origen hídrico (en especial las relacionadas con el agua residual) y el Índice de Morbilidad. Tales valores indican que la afectación en la salud pública por la contaminación del agua (río y embalse) es mínima, sin embargo, de no tomarse las medidas adecuadas, el problema será más complicado, convirtiéndose en un riesgo importante.

*Estabilidad del agua (eutroficación).* Con una probabilidad de 0.4 y con base en lo observado en el vaso de la presa, la presencia de maleza acuática es sólo eventual, por lo que este fenómeno representa un riesgo relativamente bajo.

*Salud animal.* Se determinó una probabilidad de 0.99, tomando en consideración el antecedente sobre la mortandad de patos (enero-marzo 1999). Entre otros factores, la mala calidad del agua favoreció el brote de esta epidemia; no obstante, se carece de la implantación de medidas necesarias para evitar que se vuelva a presentar el problema, lo cual, hace que el valor de la probabilidad de ocurrencia se incremente, y por consiguiente el riesgo generado por la contaminación del agua es alto, siendo esta una amenaza para tales especies animales.

Respecto a los otros dos factores que influyen en la calidad del agua, se tiene lo siguiente:

En lo referente a la deforestación en la cuenca tributaria, teniendo al suelo como agente principal y su correspondiente aportación de azolves producto de la erosión, en la zona de estudio se observó un grado de erosión moderado por lo que a este agente se le ha asignado una calificación de riesgo de 0.5. La probabilidad de ocurrencia en cada uno de los elementos afectados es:

- 0.6 para la salud animal, ya que los azolves contribuyen al deterioro de la calidad del agua, aunque para este caso, su presencia no es el principal factor
- 0.7 para la capacidad del embalse, existe acumulación de azolves, aunque el problema no es tan crítico
- 0.5 para la productividad agrícola, el valor del índice de productividad del suelo muestra que las actividades agrícolas no se ven afectadas por el mal estado del agua, y por consiguiente el factor suelo no tiene una influencia importante.

El otro factor considerado es el que se refiere a viviendas con fecalismo sobre el suelo, que de acuerdo a las condiciones que presenta la zona de estudio se le otorgó una calificación de riesgo de 0.4, valor relativamente bajo, debido a que las localidades que tienen cercanía o influencia sobre el río presentan una adecuada cobertura en sus respectivos sistemas de alcantarillado.

Los valores de probabilidad de ocurrencia asignados a los factores ambientales afectados por este agente contaminante son:

- Para la salud humana 0.3 (epidemias) y 0.4 (molestias), valores designados tomando en cuenta el grado de exposición de este factor ante los efectos causados por la falta o mal funcionamiento de obras sanitarias (sistema de drenaje o en su caso letrinas), que para este caso, no ejercen un impacto importante.
- Con respecto a la estabilidad del embalse, el valor correspondiente a la probabilidad de ocurrencia es de 0.3, ya que la eutroficación en el embalse es mínima.
- En la salud animal, la probabilidad de ocurrencia que se determinó fue de 0.5, aunque es un valor moderado no deja de representar un riesgo.



## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

#### 5.1 Conclusiones

##### 5.1.1 Generales

- La metodología propuesta incluye la valoración de los factores ambientales más relevantes de acuerdo a los propósitos que persigue, a través de cuatro indicadores numéricos que son: Índice de Calidad del Agua (simplificado), Índice de Erosión, Índice de Productividad del Suelo e Índice de Morbilidad; los cuales permiten pasar de una evaluación cualitativa (como generalmente sucede con otros métodos que se aplican para realizar una evaluación de impacto ambiental) a una evaluación cuantitativa que hace más fácil la medición de los impactos y su control.
- No obstante, que el método antes descrito fue diseñado para el análisis y el estudio sanitario-ambiental en presas que se encuentran en la etapa operativa, éste también puede aplicarse con un grado de confiabilidad aceptable (por hacer uso de modelos predictivos), en presas que aún se encuentran en la etapa de proyecto, en este caso el método puede servir de antecedente y/o complemento para desarrollar tanto un Informe Preventivo como una Manifestación de Impacto Ambiental (en su modalidad particular) ajustándolo a lo establecido en la legislación correspondiente. Por otra parte, el método también se puede utilizar para evaluar la efectividad de las medidas de mitigación y/o prevención derivadas de una manifestación de impacto ambiental.
- Se comprobó que con la aplicación de ésta metodología, se puede elaborar en forma rápida y segura un diagnóstico preliminar de la situación ambiental del caso analizado. Por lo cual, si este proceso es aplicado por las Instituciones u Organismos Operadores en las presas que tienen a su cargo y que además presenten un deterioro ambiental grave, se pueden ahorrar recursos humanos, técnicos y financieros en la formulación de planes o programas encaminados hacia el saneamiento integral de las cuencas que se encuentran afectadas por el desarrollo de actividades humanas que deterioran los recursos naturales.
- Es de particular importancia, el aspecto referente a la salud humana que entre otras causas se ve afectada por la mala calidad del agua en los embalses de las presas (principalmente las que se destinan al suministro de agua potable) y la baja cobertura y calidad de la infraestructura sanitaria de la región analizada. Es así, que el estudio antes descrito incluye la valoración del factor salud tomando como referencia la frecuencia con que se presentan las enfermedades relacionadas con el agua, de esta forma se obtiene una primera visión del impacto que ejerce la calidad del recurso sobre la salud de los consumidores, lo cual permite actuar de manera inmediata ante una situación de emergencia sobre las medidas necesarias para la mitigación y erradicación del problema.

- Con los resultados derivados de la aplicación de este proceso, se puede jerarquizar a las presas para su atención, siendo primordiales aquellas que provoquen alteraciones graves sobre la salud pública. Lo cual se verá reflejado en una mejor administración y manejo del recurso por parte de las autoridades y poblaciones afectadas.
- En la capacitación del personal encargado del manejo y operación de las obras hidro-sanitarias, la metodología propuesta es de gran utilidad ya que por su sencillez permite al personal que carece de una preparación especializada llevar a cabo el proceso para realizar un estudio sanitario-ambiental sin necesidad de recurrir a estudios más elaborados que exigen mayor tiempo y recursos.
- Los datos y resultados obtenidos al aplicar ésta metodología, pueden ser muy útiles para complementar los sistemas de información con que cuentan algunos organismos del ramo, por ejemplo la Comisión Nacional del Agua (CNA) ha elaborado una base de datos denominada Registro Nacional de Presas, en la cual se incluye información referente a las características físicas, estructurales, hidrológicas y operativas de las presas que tiene a su cargo; sin embargo, la variable ambiental aún no se ha considerado en el diseño de tal registro, es por ello que la metodología sugerida puede contribuir de manera importante en la aportación de información sanitario-ambiental necesaria para su completa integración.

### 5.1.2 Particulares

#### Caso: Presa El Centenario

- El grado de deterioro ambiental (principalmente en el factor agua) observado en el marco físico de la zona en estudio corresponde con los resultados obtenidos en la evaluación.
- Las descargas de aguas residuales tanto municipales como industriales en el tramo analizado de la cuenca del río San Juan resaltan como el principal problema, por lo que el saneamiento de las mismas constituye la acción primordial supeditando todas las demás medidas tendientes a la atenuación de esos impactos.
- Dado que la escasez de agua en la región origina un uso intensivo de este recurso (las aguas que conduce el río San Juan en el tramo de estudio en época de estiaje son aguas residuales), resulta impostergable ordenar el reúso, con criterios de calidad cuyo eje principal sea la protección de la salud, por lo que se sugiere que los sistemas de tratamiento de aguas residuales sean a través de lagunas de estabilización, que en este caso y considerando el uso posterior del agua (riego agrícola) es el más recomendable ya que presentan una mayor eficiencia para la remoción, especialmente de helmintos. Por otra parte, la escasez de agua superficial y su contaminación generan el uso desmedido de las fuentes de agua subterránea, sin permitir que éstas se recuperen.
- Desafortunadamente, la falta de conciencia y percepción del problema de una buena parte de la población es una causa generalizada, esta situación muestra una sistemática resistencia de los ciudadanos al pago de los servicios de saneamiento. Si queremos revertir esta tendencia será necesario formular campañas efectivas de concientización y educación popular con objeto de que

la población en general participe en el control de la contaminación y el mejoramiento del medio ambiente.

- El deterioro observado y la escasez de agua hacen preverse para el mediano plazo problemas importantes en la salud y un obstáculo para el desarrollo de la región si no se trabaja desde ahora en la mitigación del problema, por ello, es muy conveniente ejecutar las acciones que restituyan la calidad del agua, en forma simultánea a las demás acciones que se proponen para la protección de los otros factores ambientales.
- La rehabilitación y ampliación de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Juan del Río no ha operado como se esperaba, lo cual da lugar a varias conjeturas:
  - El sistema de tratamiento establecido (lodos activados) no es el adecuado para las condiciones existentes
  - Errores en el diseño
  - Inadecuada ubicación
  - Falta de vigilancia y control
  - Carencia de personal capacitado para la correcta operación de la planta
  - Insumos costosos

## 5.2 Recomendaciones

Los problemas observados que afectan en forma más severa a la cuenca del río San Juan y en general a la mayoría de las cuencas hidrológicas del país, son los siguientes:

- Contaminación y baja disponibilidad del agua superficial, debido a la ausencia de medidas estrictas de control de las descargas de aguas residuales y al crecimiento urbano-industrial que incrementa la demanda del recurso.
- Erosión de los suelos, debido a la deforestación generada por la aparición de desarrollos urbanos y la consecuente necesidad de terrenos de cultivo.
- Acumulación de azolves, que generan la disminución de la capacidad de regulación y almacenamiento, acentuado por la carencia de mantenimiento.

En el cuadro 5.1, se señalan las medidas de atenuación sugeridas para mejorar la calidad ambiental en la cuenca del río San Juan, relacionadas con el factor ambiental afectado y su lugar de aplicación. Cabe destacar, que al proponer cualquier solución para mitigar un problema, ésta debe ser técnica, económica y socialmente aceptable para que funcione adecuadamente, es por ello que la sociedad en su conjunto tiene una participación muy importante en la ejecución y vigilancia de las medidas que se planteen para mejorar la situación existente.

**Cuadro 5.1. Medidas de atenuación relacionadas con el factor ambiental afectado y su lugar de aplicación**

Factor ambiental afectado	Problemas observados	Medidas de atenuación	Lugar de aplicación
Agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deterioro en su calidad</li> <li>• Baja disponibilidad del recurso</li> </ul>	<p>Ubicación de descargas y su conexión a los colectores marginales</p> <p>Una vez rehabilitada y ampliada la PT vigilar estrictamente su operación</p> <p>Realizar una evaluación de los procesos del tratamiento</p> <p>El caudal que por la ubicación y trayectoria del colector no es captado por la planta (casi la mitad del gasto total), puede someterse a tratamiento por medio de lagunas de estabilización, que se ubicarían en algún lugar comprendido entre las localidades de San Pedro Ahuacatlán y San Nicolás(fig. 3.6), sitio donde existe terreno disponible y al cual puede llegar por gravedad el agua proveniente de éste colector</p> <p>Construcción de PT faltantes utilizando lagunas (preferentemente) y utilizar sus efluentes en riego agrícola de las localidades circunvecinas</p> <p>Tratamiento adecuado de aguas residuales del rastro municipal</p> <p>Establecer un programa de saneamiento básico</p> <p>Impartición de talleres por parte de los Organismos involucrados sobre criterios de diseño y evaluación de plantas de tratamiento, así como administración y modernización en la prestación de servicios de agua potable y alcantarillado</p>	<p>Tequisquiapan y San Juan del Río</p> <p>Planta de tratamiento de San Juan del Río</p> <p>Planta de tratamiento de San Juan del Río</p> <p>San Juan del Río</p> <p>San Pedro Ahuacatlán, La Llave, y San Nicolás</p> <p>Tequisquiapan</p> <p>Todas las comunidades rurales</p> <p>Directivos y técnicos de organismos operadores</p>

Continuación cuadro 5.1

Factor ambiental afectado	Problemas observados	Medidas de atenuación	Lugar de aplicación
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosión (con mayor intensidad en la parte alta de la cuenca)</li> </ul>	<p>Campañas de educación popular para fomentar una cultura del agua</p> <p>Estricta vigilancia y aplicación de estrategias adecuadas por parte de las autoridades para el cumplimiento de la normatividad sobre calidad del agua, especialmente sobre las industrias que descargan sus aguas residuales parcialmente tratadas y en algunos casos sin tratamiento previo al río San Juan</p> <p>Drenaje parcelario eficiente</p> <p>Plantar franjas de arbolado dentro de las parcelas</p> <p>Alternación de cultivos</p> <p>Reforestación en zonas altas y cárcavas</p>	<p>Sociedad en general</p> <p>Kaltex (industria del teñido de telas) y Productos San Juan (industria de productos lácteos)</p> <p>Zonas de cultivo</p>
Biodiversidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Afectación de especies (principalmente patos)</li> </ul>	<p>Preservar un adecuado gasto ecológico</p> <p>Prohibir prácticas agrícolas en la zona de inundación del vaso</p> <p>Creación de zonas de reserva ecológica</p> <p>Siembra de peces en cauces y vasos</p>	<p>Cauce del río San Juan</p> <p>Vaso de la Presa El Centenario</p> <p>Zona alta de la cuenca</p> <p>Toda la cuenca</p>

## BIBLIOGRAFIA

---

- Cesar Valdez Enrique, Alba B. Vázquez González. Apuntes de Impacto Ambiental. UNAM, Fac. de Ingeniería, México, 1994.
- Tebbutt T.H.Y. Fundamentos de Control de Calidad del Agua. 3ª ed, Limusa, México, 1996.
- Weitzenfeld Henyk. Evaluación del Impacto en el Ambiente y la Salud. 2ª. Ed, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, México, 1996.
- Los Municipios de Querétaro. Colección: Enciclopedia de los municipios de México, 1987.
- INEGI. Anuario Estadístico, Querétaro, México, 1995.
- INEGI. Censo de Población y Vivienda 1995, Querétaro: Resultados Definitivos Tabulados Básicos, México, 1995.
- CONAPO. Situación Demográfica del Estado de Querétaro, México, 1996.
- SEMARNAP. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
- SEMARNAP. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental.
- Gaceta Ecológica. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. CE-CCA-001/89.
- Sistema Nacional de Salud. SS. Dir. Gral. De Epidemiología. Informe de casos nuevos de enfermedades. Jurisdicción Sanitaria 02, San Juan del Río, Qro.

- Revista Día Interamericano del Agua. Guía de trabajo sobre el agua. Lima, Perú, 2000.
- Comisión Nacional del Agua. Gerencia Estatal en Querétaro. Emergencia Hidroecológica. Muerte de Aves en la presa El Centenario Tequisquiapan, Qro. Informe Final, 1999.
- Romero Alvarez Humberto, Jesús García Ollervides. Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental en Presas. Comisión Nacional del Agua. Subdirección General Técnica. Gerencia del Consultivo Técnico. México, 1998
- Comisión Nacional del Agua. Subdirección General Técnica. Gerencia del Consultivo Técnico. Informe de la visita a la presa Centenario en Querétaro (26 y 27 de enero de 1999).
- Comisión Nacional del Agua. Subdirección General Técnica. Gerencia del Consultivo Técnico. Programa de Seguridad de Presas. Evaluación Preliminar de Impacto Ambiental en la Presa El Centenario, Qro. Humberto Romero Alvarez, Jesús García Ollervides, México, 1999.