



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA**

**T E S I S**

**“EVALUACIÓN SANITARIO-AMBIENTAL DE LA PRESA VILLA  
VICTORIA, PERTENECIENTE AL SISTEMA CUTZAMALA”**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A:

**CAROLINA ALCALÁ JUÁREZ**

TUTOR

**DR. ENRIQUE CÉSAR VALDÉZ**



2013



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/155/12

Señorita  
CAROLINA ALCALÁ JUÁREZ  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. ENRIQUE CÉSAR VALDEZ, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"EVALUACIÓN SANITARIO-AMBIENTAL DE LA PRESA VILLA VICTORIA, PERTENECIENTE AL SISTEMA CUTZAMALA"**

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. EVALUACIÓN SANITARIO-AMBIENTAL EN PRESAS CON CRITERIO CUENCA Y RIESGO
- III. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA VILLA VICTORIA-SAN JOSÉ DEL RINCÓN
- IV. ALTERACIÓN DE LOS FACTORES SANITARIO-AMBIENTALES EN LA CUENCA DE ESTUDIO
- V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFÍA

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 HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 7 de febrero del 2013.  
EL PRESIDENTE

M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTH\*gar.

## DEDICATORIAS

*A mi madre, la persona más preciada en mi vida, tus cuidados, cariños, enseñanzas y consejos van implícitos en este logro y en todos y cada uno de mis triunfos; soy la hija más afortunada por tenerte.*

*A mis hermanos: Natalia y David.*

*A Emiliano, por traer tanta alegría e inocencia a nuestras vidas.*

## AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**, por haberme permitido desarrollarme no sólo como estudiante, sino como persona de calidad. Así mismo agradezco al **Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT)**, por el apoyo económico otorgado.

Al **Dr. Enrique César Valdéz** por la paciencia y dedicación que me brindó al dirigir el presente trabajo, así como la orientación, disciplina y el conocimiento con que me guio los últimos años de la licenciatura, lo que sin duda colaboró en encontrar mi verdadera vocación, ¡Gracias maestro!

A los maestros **Alba Beatriz Vázquez González** y **Rodrigo Takashi Sepúlveda Hirose**, quienes desde el principio me brindaron su apoyo y amistad facilitándome las herramientas para desarrollar el trabajo en armonía.

Al **M. I. Sergio Tirado Ledesma**, por las valiosas aportaciones y el interés mostrado en la revisión de este trabajo.

A mis amigos y compañeros **Adrián, Arlette, Diego, Javier, Ramón y Silvana**, cuya amistad representa la mejor gratificación de esta experiencia.

# Índice

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN.....   | 1  |
| 1. ANTECEDENTES .....   | 3  |
| 1.1    Objetivos .....  | 3  |
| 1.2    Legislación ambiental.....   | 4  |
| 1.3    Enfermedades relacionadas con el agua.....                                     | 5  |
| 1.4    Metodología para le evaluación de factores ambientales y socioeconómicos ..... | 7  |
| 1.4.1    Agua.....  | 7  |
| 1.4.2    Suelo.....   | 9  |
| 1.4.3    Salud.....   | 11 |
| 1.4.4    Productividad agrícola.....  | 12 |
| 1.4.5    Medio socioeconómico .....   | 12 |
| 2. EVALUACIÓN SANITARIO-AMBIENTAL CON CRITERIO CUENCA Y RIESGO.....                   | 14 |
| 2.1    Recopilación de información.....   | 14 |
| 2.1.1    Visitas de inspección .....  | 15 |
| 2.1.2    Cuestionario para la recopilación de datos.....                              | 16 |
| 2.2    Interpretación y análisis .....  | 20 |
| 3. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA VILLA VICTORIA-SAN JOSÉ DEL RINCÓN.....               | 24 |
| 3.1    Localización .....   | 24 |
| 3.2    Medio físico.....  | 25 |
| 3.2.1    Clima.....   | 25 |
| 3.2.2    Geomorfología y relieve.....   | 25 |
| 3.1.1    Hidrología.....  | 26 |
| 3.1.2    Flora y fauna.....   | 27 |
| 3.1.3    Geología .....   | 28 |
| 3.1.4    Edafología.....  | 28 |
| 3.3    Medio socioeconómico .....   | 29 |
| 3.1.5    Población.....   | 29 |
| 3.1.6    Salud.....   | 30 |
| 3.1.7    Educación .....  | 31 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.1.8  | Vías de comunicación.....   | 31 |
| 3.1.9  | Agua potable, alcantarillado y tratamiento .....  | 32 |
| 3.1.10 | Actividades económicas .....  | 33 |
| 3.2    | Cuestionario de inspección en presas para vigilancia y evaluación de riesgos sanitario-ambientales..... | 34 |
| 4.     | ALTERACIÓN DE LOS FACTORES SANITARIO-AMBIENTALES EN LA CUENCA DE ESTUDIO.....                           | 42 |
| 4.1.   | Valoración de los parámetros e índices .....  | 42 |
| 4.1.1. | Agua.....   | 42 |
| 4.1.2. | Suelo.....  | 45 |
| 4.1.3. | Salud .....   | 48 |
| 4.1.4. | Productividad agrícola.....   | 49 |
| 4.1.5. | Aspectos sociales.....  | 49 |
| 4.2.   | Identificación de causas y efectos.....   | 51 |
| 4.3.   | Índice de riesgo .....  | 55 |
| 4.4.   | Interpretación y análisis de riesgos.....   | 57 |
| 4.5.   | Medidas de mitigación .....   | 60 |
|        | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....   | 62 |
|        | FUENTES DE CONSULTA .....   | 66 |

## Índice de tablas

- Tabla 1.1. Enfermedades más comunes relacionadas con el agua y sus agentes infecciosos.
- Tabla 1.2. Importancias relativas y fórmulas para el cálculo de cada parámetro que interviene en el cálculo del ICA.
- Tabla 1.3. Dimensiones socioeconómicas a indicadores del índice de marginación urbana por AGEB 2010
- Tabla 2.1. Principales aspectos relacionados con el estudio sanitario-ambiental de una presa.
- Tabla 2.2. Causas y efectos más comunes en el ambiente.
- Tabla 2.3. Clasificación del riesgo sanitario-ambiental en presas destinadas al suministro de agua potable.
- Tabla 2.4. Probabilidad de ocurrencia del riesgo, según su calificación y las medidas de atenuación.
- Tabla 2.5. Matriz simplificada que indica el índice de riesgo.
- Tabla 3.1. Información de las principales condiciones meteorológicas.
- Tabla 3.2. Características hidrológicas de la cuenca.
- Tabla 3.3. Casos reportados de enfermedades relacionadas con el agua a nivel nacional y en la cuenca.
- Tabla 3.4. Características de las descargas de aguas residuales de las principales localidades en la cuenca.
- Tabla 3.5. Enfermedades de origen hídrico presentadas en la cuenca.
- Tabla 4.1. Coordenadas de los puntos de muestreo.
- Tabla 4.2. Datos obtenidos durante la primera campaña de muestreo, en época de estiaje.
- Tabla 4.3. Datos obtenidos durante la segunda campaña de muestreo, en época de lluvia.
- Tabla 4.4. Índice de calidad del agua de las dos campañas de muestreo para cada punto.
- Tabla 4.5. Área de cuencas y longitud de cauces
- Tabla 4.6. Rangos de pendientes.
- Tabla 4.7. Resumen de factor del índice de erosión.
- Tabla 4.8. Casos reportados de enfermedades relacionadas con el agua a nivel nacional y en la cuenca.
- Tabla 4.9. Rendimiento de los principales cultivos de la zona de estudio.
- Tabla 4.10. Causas y efectos del factor afectado agua.
- Tabla 4.11. Causas y efectos del factor afectado suelo.
- Tabla 4.12. Causas y efectos del factor afectado salud
- Tabla 4.13. Matriz simplificada del índice de riesgo
- Tabla 4.14. Resultados del índice de riesgo.

## Índice de figuras

Figura 3.1. Distribución y localización de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón.

Figura 3.2. Representación del relieve en la CVVSJR. Fuente: OCAVM.

Figura 3.3. Diagrama del proceso de tratamiento de la Planta potabilizadora Los Berros. Fuente: CONAGUA

Figura 4.1. Localización de los puntos de muestreo.

Figura 4.2. Uso de suelo en la cuenca. Fuente: Problemática de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón. Fuente: CCVVSJR

Figura 4.3. Grado de marginación por municipios (Estado de México). Fuente: CONAPO, 2012.

Figura 4.4. Coloración y espumas que se presenta en distintos puntos del embalse.

Figura 4.5. Descargas de Aguas Residuales Municipales (DARM) de San Pedro del Rincón y El Espinal. Fuente: Programa de obras y acciones para la preservación de la CCVVSJR

Figura 4.6. DARM de San Pedro del Rincón y El Libramiento. Fuente: ídem anterior

Figura 4.7. DARM de Los Padres y Los Dólares. Fuente: ídem anterior

Figura 4.8. Práctica de lavado de ropa que se realiza frecuentemente en el embalse.

Figura 4.9. Práctica de pesca por habitantes de las localidades cercanas.



# INTRODUCCIÓN

---

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) está conformada por las 16 delegaciones del Distrito Federal, 59 municipios del Estado de México y 1 municipio del Estado de Hidalgo, de acuerdo con información del INEGI, en el 2010 se estimaba que contaba con 29 millones de habitantes; actualmente, la ZMVM es el principal escenario económico y social del país, lo que ha propiciado una alta densidad de población y concentración de actividades productivas que han ocasionado un incremento en la demanda de bienes y servicios, lo que implica una enorme carga sobre los recursos naturales de la región, entre los cuales, el más notable es el agua.

La mayor parte de la ZMVM se ubica sobre la Cuenca de México y depende fundamentalmente de ella para el abastecimiento de agua potable. Es una cuenca endorreica de origen lacustre cuyo estado ha sido modificado por el hombre desde finales del siglo XVII. El descubrimiento en 1846 de agua subterránea proveniente de los pozos artesianos, provocó un furor por la perforación y extracción de los mismos (Orozco y Berra, 1864), dicha acción, combinada con los métodos artificiales de drenado del valle - para evitar inundaciones - provocó que muchos manantiales se secaran, que los lagos disminuyeran su nivel y que el agua del subsuelo perdiera presión, teniendo como resultado la consolidación de las formaciones de arcilla lacustre sobre las que se asienta la ciudad. El consecuente hundimiento ha constituido un serio problema, en 1953 ya se había demostrado que dicho hundimiento estaba asociado a la extracción de agua subterránea, por lo que muchos pozos del área urbana fueron clausurados.

Con esta problemática, los gobiernos de la Zona Metropolitana se han visto obligados a buscar otras alternativas para satisfacer las necesidades sin contribuir a la sobreexplotación de los acuíferos de la Cuenca de México, una de ellas fue la construcción del Sistema Cutzamala, el cual provee de aproximadamente la cuarta parte del caudal que se consume en la ZMVM<sup>1</sup>; dicho sistema tiene gran importancia no sólo por la cantidad de agua que suministra sino también por el desnivel que se vence (1,100 m) y la distancia que recorre.

El Sistema Cutzamala está conformado por 7 presas, 4 derivadoras (Tuxpan, Ixtapan del Oro, Colorines y Chilesdo) y 3 de almacenamiento (Valle de Bravo, Villa Victoria y El Bosque) distribuidas en los estados de México y Michoacán, seis plantas de bombeo y una planta potabilizadora, cabe mencionar que el sistema está sujeto a las variaciones en el régimen hidrológico de sus elementos. En el año 2008, la CONAGUA consideró que este sistema era la única fuente de agua sustentable para el abastecimiento de la ZMVM, sin embargo, en los últimos años se han presentado importantes disminuciones en el volumen de las presas y en la calidad del agua de las mismas.

---

<sup>1</sup> De los 82 m<sup>3</sup>/s que se requieren para abastecer a la zona metropolitana, 79% proviene de fuentes subterráneas: del acuífero del Valle de México (59.86 m<sup>3</sup>/s) y del Lerma (4.92 m<sup>3</sup>/s), el 23% restante es suministrado por fuentes superficiales, 14.76 m<sup>3</sup>/s provienen del Sistema Cutzamala y 2.46 m<sup>3</sup>/s del Río Magdalena, la Presa Madín y manantiales. Estadísticas del Agua, 2011.

El deterioro de las subcuencas que conforman el sistema Cutzamala puede alterar su capacidad para suministrar agua a la zona metropolitana. De acuerdo al Instituto Nacional de Ecología (INE), las causas obedecen principalmente al bajo nivel de almacenamiento que han alcanzado sus presas, debido a procesos de azolvamiento, además de factores meteorológicos, fugas en la infraestructura, entre otros, perdiéndose así cerca del 50% de su capacidad; el mejor ejemplo es la presa de Villa Victoria, que alcanzó su nivel histórico más bajo de un 26% de almacenamiento, lo cual obligó a suspenderla como provisora en 2006.

Por lo anterior, el propósito del presente trabajo es realizar la evaluación sanitario-ambiental de la presa Villa Victoria usando el criterio cuenca y riesgo, empleado de manera interna por la CONAGUA para conocer el estado de las presas para abastecimiento de agua potable y la eficacia de las medidas de atenuación que hayan sido implantadas, también se obtendrán índices que permitan evaluar los factores afectados (agua, suelo, productividad agrícola y salud). Con esta información se pretende analizar el riesgo en la zona de estudio y en caso de ser posible, emitir medidas de mitigación que permitan mejorar las condiciones de la presa y de la población.

Esta tesis se divide en cinco capítulos. En el primero se menciona la legislación ambiental, es decir, las leyes a la que está sujeta la presa por su condición de uso (abastecimiento de agua potable), por otro lado, se hace una síntesis de las enfermedades relacionadas con el agua, la normatividad en correspondencia con los límites permisibles para consumo humano y para reúso; también se menciona la metodología para la evaluación de cada uno de los factores afectados. En el capítulo dos se detalla en qué consiste la evaluación por medio del criterio cuenca y riesgo, es decir, la manera en la que se desarrollará toda la evaluación.

En el capítulo tres se hace una descripción de la zona de estudio, en este caso, de la Cuenca Villa Victoria-San José del Rincón (CVVSJR), detallando sus condiciones actuales, tanto físicas (clima, relieve, hidrología, flora y fauna, geología y edafología) como socioeconómicas (población, salud, educación, vías de comunicación, agua potable, alcantarillado y saneamiento y actividades económicas), posteriormente se presenta un cuestionario de inspección para presas cuyo uso del agua es para consumo humano como parte de la metodología.

En el capítulo cuatro se presentan los resultados respecto a la evaluación de los factores analizados, se obtendrán las causas y efectos de dichos factores y se obtendrá un índice de riesgo, que representa el producto de la calificación de riesgo por su probabilidad de ocurrencia, dichos valores cuantitativos se dispondrán en una matriz simplificada, a partir de la cual se realizarán interpretaciones y se podrán emitir comentarios respecto a las medidas de mitigación que ya hayan sido implantadas.

En el último capítulo se presentan las conclusiones en relación con el objetivo planteado y los resultados obtenidos; y finalmente, las recomendaciones propuestas.

# 1. ANTECEDENTES

---

El aspecto actual del planeta Tierra es el resultado acumulado de acciones a lo largo de millones de años, de fenómenos naturales y de actividades realizadas por los seres humanos. El desarrollo de nuestra civilización ha modificado el paisaje terrestre: los lugares donde habitamos, de donde obtenemos nuestros alimentos, han removido los ecosistemas originales, secado cuerpos de agua o en algunos casos, ganado tierras al mar; también nos ha llevado a la extinción de especies, se ha incrementado la cantidad de gases y contaminantes en la atmósfera produciendo cambios de clima entre otros efectos adversos. El impacto que el ser humano ha causado al ambiente ha ido incrementando, por lo que la medición y evaluación del mismo toma un lugar importante; sin embargo, se han propuesto diversas maneras para hacerlo. En este capítulo se describen los objetivos del trabajo, la legislación ambiental vigente en México, para citarnos en un contexto jurídico y comprender el papel que juegan todos los actores, así como la metodología para la evaluación de cada uno de los factores comúnmente alterados. También se presenta una guía para la evaluación-sanitario ambiental empleando el criterio cuenca y riesgo.

## 1.1 Objetivos

### Objetivo General

- Realizar la evaluación Sanitario-Ambiental de la presa Villa Victoria usando el criterio cuenca y riesgo

### Objetivos específicos

- Caracterizar la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón mediante información bibliográfica y visitas de campo.
- Determinar los índices que permitan evaluar la alteración de los factores sanitario-ambientales en la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón.
- Evaluar los factores sanitario-ambientales de la cuenca de estudio.
- Analizar el riesgo en la presa y emitir medidas de mitigación que permitan mejorar las condiciones de la presa Villa Victoria y de la población que se ve afectada por dichas condiciones.

## 1.2 Legislación ambiental

En México, como en todo el mundo, la legislación ambiental surge con el objetivo de frenar las tendencias de deterioro del medio ambiente. Antes de los años 70 prácticamente no se aplicaba ninguna sanción a pesar de indicios de impactos crecientes (principalmente de las industrias) en términos de contaminación atmosférica y generación de residuos.

La primera ley de carácter ambiental en nuestro país fue la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental publicada en 1971 y cuya administración estuvo a cargo de la entonces Secretaría de Salubridad y Asistencia; el principal objetivo de esta Ley era la regulación en el sector industrial. En 1982 se publica la Ley Federal de Protección al Ambiente y seis años más tarde (en 1988) es derogada por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), originalmente era aplicada y administrada por la extinta Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) a través del Instituto Nacional de Ecología (INE); sin embargo, la SEDUE era una Secretaría encargada de atender problemas derivados del crecimiento industrial y demográfico, por lo que su orientación era urbano-industrial.

En 1994 se crea la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), con la cual se integran los recursos naturales, la biodiversidad, la atención de los residuos peligrosos y de los problemas ambientales urbano-industriales. A un año de su creación, la SEMARNAP (actualmente SEMARNAT) publica el Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 1995-2000 cuyo objetivo involucraba la promoción del desarrollo económico y social con criterios de sustentabilidad. La operatividad de dicho programa sugería políticas ambientales, por lo que en el mismo periodo se crea un apartado sobre el tema en el Plan Nacional de Desarrollo. Posteriormente se incorporan los programas operativos de los órganos desconcentrados de la SEMARNAT: la Comisión Nacional del Agua (CNA), la Comisión Nacional Forestal y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. La principal innovación de la política ambiental consistió en haber logrado que secretarías de estado e instituciones de gobierno federal incorporaran la sustentabilidad en sus respectivos programas sectoriales. Entre las metas específicas que señala el programa se encuentran establecer 13 cuencas hidrológicas bajo el esquema de Manejo Integral de Cuencas y diseñar y aplicar un plan maestro para la recuperación de cuencas prioritarias bajo el mismo esquema.

De acuerdo a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), la política ambiental y el manejo de recursos naturales se han agrupado en 3 etapas principales:

- Enfoque correctivo. Implica el combate a la contaminación y al deterioro de recursos (en la década de los setentas)
- Enfoque de gestión de recursos naturales y de sistemas naturales. (Se inicia a principio de los ochentas)
- Política preventiva. Mantiene estrategias de los 2 enfoques anteriores.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) es el documento jurídico más importante a nivel nacional, indica que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar y que el Estado garantizará el respeto a este derecho, también menciona que el daño y el deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley. En materia ambiental, la ley más importante es la LGEEPA, sin embargo, existen otras leyes federales y nacionales, tales como la Ley de Aguas Nacionales (1992), la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (1991), Ley General de Salud (1984), Ley Federal de Metrología y Normalización (1992), la Ley Federal de Sanidad Animal entre otras.

La LGEEPA se ha modificado de acuerdo a los cambios en la Ley de la Administración Pública, con el principal objetivo de propiciar el desarrollo sustentable<sup>2</sup> y tiene cuatro reglamentos: en materia de Impacto Ambiental, de Residuos Peligrosos, de Evaluación de Impacto Ambiental y de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica. La función de inspección y fiscalización del cumplimiento de la LGEEPA recae en la PROFEPA y en el caso de las leyes ecológicas estatales, esta función está a cargo de las procuradurías estatales; en el caso del recurso agua, la autoridad y administración recae en la CNA.

### **1.3 Enfermedades relacionadas con el agua**

La relación entre el agua y la salud es un factor importante, ya que muchas enfermedades y muertes, principalmente en países en desarrollo, son debido al uso y consumo de aguas contaminadas; sin embargo, el consumo no es la única forma de contraer enfermedades. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) las enfermedades relacionadas con el uso del agua incluyen aquellas causadas por microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua, como la esquistosomiasis, que tiene parte de su ciclo de vida en el agua, o la malaria, cuyos vectores están relacionados con el agua. El cuadro clínico más común es diarrea, malestar general, fiebre, náusea y vómito; la duración es variable y depende del organismo patógeno que haya ocasionado el contagio.

En el mundo, alrededor de mil millones de personas carecen de acceso a fuentes de agua mejoradas y unos 2 500 millones no tienen acceso a instalaciones básicas de saneamiento. La diarrea causada por agentes virales y bacterianos es frecuente en países en desarrollo. Según la OMS, cada año se producen dos mil millones de casos de diarrea en todo el mundo. Las enfermedades diarreicas son una causa principal de morbilidad, mortalidad y un factor importante de desnutrición en la niñez; y por lo general, son consecuencia de la exposición a alimentos o agua

---

<sup>2</sup> Desarrollo sustentable. El proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras (LGEEPA).

contaminados. En México, dichas enfermedades ocupan uno de los primeros lugares como causa de morbilidad en población menor de cinco años, generando el 20% de la demanda de consulta en los servicios de salud y el 10% de las hospitalizaciones pediátricas.

Las enfermedades relacionadas con el agua son causadas por microorganismos patógenos como bacterias, protozoarios, helmintos, algas y hongos; aunque los virus no son considerados microorganismos, pueden habitar y reproducirse dentro de otros organismos, por lo que el agua resulta un medio de transmisión. En la Tabla 1.1 se enlistan las enfermedades más comunes relacionadas con el agua y el microorganismo que las produce; se presenta una clasificación con base en el tipo de agente infeccioso.

**Tabla 1.1. Enfermedades más comunes relacionadas con el agua y sus agentes infecciosos.**

| Agentes      | Enfermedades  | Origen   |
|--------------|---|--|
| Bacterias    | Cólera<br>Fiebre tifoidea<br>Disentería bacilar<br><br>Fiebre paratifoidea<br>Tularemia<br>Yersiniosis<br>Gastroenteritis<br>Diarrea aguda<br>Leptospirosis<br>Meningitis,<br>neumonía<br><br>Ántrax<br>Tuberculosis<br>Infección gástrica,<br>úlcera | <i>Vibrio cholerae</i><br><i>Salmonella typhi</i><br><i>Shigella dysenteriae, Shigella flexnery, Shigella boydii, Shigella sonnei</i><br><i>Salmonella paratyphi, S. schottmulleri, S. hirshfeldi</i><br><i>Pasteurella tularensis</i><br><i>Yersinia pseudotuberculosis, Y. enterocolitica</i><br><i>Campylobacter fetus</i><br><i>Escherichia coli enterotoxigena</i><br><i>Leptospira interrogans</i><br><i>Legionella pneumophila, Pseudomonas aeruginosa, Staphylococcus aureus, Flavobacterium, Klebsiella, Acinetobacter,</i><br><i>Bacillus anthracis</i><br><i>Mycobacterium tuberculosis</i><br><i>Helicobacter pylori</i> |
| Protozoarios | Disentería amebiana<br>Giardiasis<br>Balantidiasis<br>Cryptosporidiosis   | <i>Entamoeba histolytica</i><br><i>Giardia lamblia</i><br><i>Balantidium coli</i><br><i>Cryptosporidium parvum</i>   |
| Virus        | Hepatitis infecciosa<br>Poliomielitis<br>Virosis de vías respiratorias y gastrointestinales   | <i>Poliovirus</i><br><br><i>Adenovirus, reovirus, Coxsackie, enterovirus</i>   |
| Helmintos    | Enfermedad del gusano de Guinea<br>Esparganosis<br>Esquistosomiasis<br>Anquilostomiasis   | <i>Dracunculus medinensis</i><br><i>Spirometra spp.</i><br><i>Schistosoma spp.</i><br><i>Ancylostoma duodenale, Necator americanus</i>   |

|  |                   |                                  |
|--|-------------------|----------------------------------|
|  | Ascariasis        | <i>Ascaris lumbricoides</i>      |
|  | Tricuriasis       | <i>Trichiuris trichiura</i>      |
|  | Entrongiloidiasis | <i>Strongyloides stercoralis</i> |
|  | Enterobiasis      | <i>Enterobius vermicularis</i>   |
|  | Oxiuriasis        | <i>Oxiuro</i>                    |

Fuente: Elaborada con información de la OMS

En la CPEUM establece que toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible y que el Estado garantizará este derecho; sin embargo, también menciona que debe haber participación ciudadana para conseguir dichos fines.

En 1994, la Secretaría de Salud publicó la NOM-127-SSA1-1994 que establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, ya que el abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras. Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas hasta la entrega al consumidor, en 1999 se propuso una modificación a la norma y actualmente sigue vigente. En 1996, con el fin de proteger la calidad de las aguas y los bienes nacionales y posibilitar sus usos, se aprobó la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, se indican los métodos de prueba y la verificación, así como el grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales; dicha norma es de observancia obligatoria. Así mismo, si se desea reusar el agua en servicios públicos se deben seguir los lineamientos de la NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas tratadas que se reusen en servicios al público.

## 1.4 Metodología para le evaluación de factores ambientales y socioeconómicos

### 1.4.1 Agua

De acuerdo al Instituto de Recursos Mundiales (WRI) la calidad del agua no es una característica absoluta, sino que es más un atributo definido socialmente en función del uso que se le piense dar al líquido. Cada uso requiere de un determinado estándar de calidad, por esta razón, para evaluar la calidad del agua es necesario considerar el contexto del uso probable que tendrá.

#### Índice de calidad del agua

Con el fin de evaluar la calidad del agua se han desarrollado diversos índices, en México se ha empleado por varios años el Índice de Calidad del Agua (ICA), el cual agrupa de manera ponderada

18 parámetros, entre los que se encuentran la demanda bioquímica de oxígeno, el oxígeno disuelto, los coliformes (fecales y totales), los sólidos suspendidos, entre otros. El índice determina el grado de contaminación del agua y está expresado como porcentaje del agua pura (escala 0 a 100), por lo que un valor cercano a 100 denota excelentes condiciones.

Cada parámetro está asociado a un modelo matemático, el cual convierte el dato en índices de calidad ( $I_i$ ). Debido a que ciertos parámetros son más significativos que otros en su influencia en la calidad del agua, se han establecido pesos o factores de ponderación ( $W_i$ ) que se muestran en la

Tabla 1.2. Finalmente, los índices por parámetro son promediados (Ecuación 1.1) a fin de obtener el ICA de la muestra de agua.

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Tabla 1.2. Importancias relativas y fórmulas para el cálculo de cada parámetro que interviene en el cálculo del ICA.

| Parámetros                                    | $W_i$ | Fórmulas para cada parámetro ( $I_i$ ).  | Unidades        |
|---|-------|--|-----------------|
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)           | 5     | $I_{DBO} = 120 * DBO^{-0.0673}$  | mg/L            |
| Oxígeno disuelto (OD)                         | 5     | $I_{OD} = 100 * \frac{OD}{OD_{sat}}$   | mg/L            |
| Coliformes fecales (CF)                       | 4     | $I_{CF} = 97.5 * (5 * CF)^{-0.27}$   | NMP/ml          |
| Coliformes totales (CT)                       | 3     | $I_{CT} = 97.5 * CT^{-0.27}$   | NMP/ml          |
| Sustancias activas al azul de metileno (SAAM) | 3     | $I_{SAAM} = 100 - 16.678 * SAAM + 0.158 * SAAM^2$  | mg/L            |
| Conductividad eléctrica (CE)                  | 2     | $I_{CE} = 540 * CE^{-0.379}$   | μmhos/cm        |
| Fosfatos totales ( $PO_4^{-3}$ )              | 2     | $I_{PO_4} = 34.215 * PO_4^{-0.46}$   | mg/L            |
| Grasas y aceites                              | 2     | $I_{GyA} = 87.25 * GyA^{-0.298}$   | mg/L            |
| Nitrógeno amoniacal ( $NH_3$ )                | 2     | $I_{NO_3} = 162.2 * NO_3^{-0.343}$   | mg/L            |
| Nitrógeno en nitratos ( $NO_3^{-1}$ )         | 2     | $I_{NH_3} = 45.8 * NH_3^{-0.343}$  | mg/L            |
| Alcalinidad (A)                               | 1     | $I_A = 105 * A^{-0.186}$   | mg/L            |
| Color   | 1     | $I_C = 123 * C^{-0.295}$   | Platino-cobalto |
| Dureza total                                  | 1     | $I_D = 10^{1.974 - 0.00174 * D}$   | mg/L            |
| Potencial hidrógeno (pH)                      | 1     | Si $pH < 6.7 \rightarrow I_{pH} = 10^{0.2335pH + 0.440}$<br>Si $6.7 < pH < 7.3 \rightarrow I_{pH} = 100$<br>Si $pH > 7.3 \rightarrow I_{pH} = 10^{4.22 - 0.293pH}$ | Unidades de pH  |
| Sólidos suspendidos (SS)                      | 1     | $I_{SS} = 266.5 * SS^{-0.37}$  | mg/L            |
| Cloruros ( $Cl^{-1}$ )                        | 0.5   | $I_{Cl} = 121 * Cl^{-0.223}$   | mg/L            |
| Sólidos disueltos (SD)                        | 0.5   | $I_{SD} = 109.1 - 0.0175 * SD$   | mg/L            |
| Turbiedad (T)                                 | 0.5   | $I_T = 108 * T^{-0.178}$   | UTJ             |

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, 1999.



Los métodos de prueba para la obtención de los parámetros se encuentran en las normas mexicanas en materia de agua que establece la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

### Índice de calidad del agua IMTA-II UNAM

Al igual que el ICA, el ICA Instituto Mexicano de Tecnología del Agua en colaboración con el Instituto de Ingeniería de la UNAM (IMTA-II UNAM) es una forma de evaluar la calidad del agua, sin embargo, este método considera que las técnicas multiplicativas son más sensibles a la variación de los parámetros respecto a las aditivas; se espera que se refleje con mayor precisión un cambio de calidad.

El ICA IMTA-II UNAM se basa en la medida geométrica del método de Dinius (1974) con modificaciones del Instituto de Ingeniería (1987). Se calcula con la Ecuación 1.2.

$$ICA = \prod_{i=1}^n Q_i^{w_i} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Dónde:

- ∏ Operación multiplicativa de las variables  $Q$  elevadas a la potencia  $w$
- $n$  Número de parámetros elegidos
- $Q_i$  Calidad del parámetro  $i$ , en función de su concentración, variando entre 0 y 100.
- $w_i$  Pesos específicos asignados a cada parámetro  $i$ , ponderados entre 0 y 1

El ICA IMTA-II UNAM varía de 0 a 100. Donde el valor nulo corresponde al peor caso y el máximo a la calidad óptima.

### Otros métodos

Existen otros métodos tales como el de la Fundación Nacional de Saneamiento (NFS) de Estados Unidos, el del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME) de Canadá, entre otros, cuyas bases y objetivos difieren a los métodos empleados en México.

### 1.4.2 Suelo

#### Pérdida anual de suelo a largo plazo

Se puede hacer el cálculo empleando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE por sus siglas en inglés, Ecuación 1.3) desarrollada por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos en 1930.

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Ecuación 1.3

Dónde:

- A* Pérdida de suelo por unidad de superficie,  $Mg \cdot ha^{-1}$
- R* Factor de erosividad de la lluvia. Es el producto acumulado para el periodo de interés con cierta probabilidad de ocurrencia, de la energía cinética por la máxima intensidad en 30 min de lluvias,  $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot hr^{-1} \cdot año^{-1}$
- K* Factor de erosividad del suelo. Es la cantidad promedio de suelo perdido por unidad del factor *R*, cuando el suelo en cuestión se mantiene permanentemente desnudo, con laboreo secundario a favor de la pendiente (condiciones de máxima erosión posible).

Los siguientes factores son relacionales a estándares y no tienen dimensiones:

- L* Factor longitud de pendiente. Es la relación entre la erosión con una longitud de pendiente dada y la que ocurre en la estándar.
- S* Factor inclinación de la pendiente. Relación entre la erosión con una inclinación de pendiente dada y la que ocurre en el estándar.
- C* Factor de uso y manejo. Relación entre la erosión de un suelo con un determinado sistema de uso y manejo y la que ocurre en el mismo suelo puesto en las condiciones estándar en que se definió el factor *K*
- P* Factor práctica mecánica de apoyo. Es la relación entre la erosión que ocurre con una determinada práctica mecánica de apoyo y la que ocurre con la condición estándar de laboreo a favor de la pendiente

### Índice de erosión

De manera interna, la Comisión Nacional del Agua (CNA) ha empleado un índice de erosión, en el cual considera los factores que intervienen en la ecuación universal de pérdida de suelo, esto con el fin de simplificar el cálculo del mismo (Ecuación 1.4).

$$I_e = R + K + L + S + C + P$$

Ecuación 1.4

Dónde:

- I<sub>e</sub>* Índice de erosión
- R* Factor debido a la intensidad de lluvia. Este factor está asociado a la cantidad, duración, e intensidad de los eventos de lluvia. Indica la capacidad de las lluvias de causar erosión.
- K* Factor de erosionabilidad del suelo. Representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, su valor depende del contenido de la materia orgánica, textura superficial, estructura del suelo y permeabilidad.

- L* Factor de longitud de pendiente. Se asume que a mayor longitud de pendiente, hay mayor susceptibilidad de los suelos a sufrir erosión
- S* Factor de gradiente de la pendiente. A mayor grado de pendiente, mayor riesgo de erosión del suelo.
- C* Factor de manejo del suelo o cubierta vegetal. Involucra el manejo que se da a los cultivos, así como la porción de suelo que está protegido por vegetación.
- P* Factor de técnica de control de la erosión. Está relacionado con las prácticas de conservación del suelo utilizadas en la región.

Los valores que se asignan a los factores varían de 0 a 1.0, correspondiendo el valor más bajo al menor riesgo provocado por este factor y el valor más alto al riesgo mayor, por lo que el intervalo del índice será:

$$0 \leq I_e \leq 6.0$$

Cabe mencionar que el valor asignado es cualitativo y dependerá del criterio y experiencia de quien lo asigna.

### 1.4.3 Salud

#### Índice de morbilidad

Este índice ( $I_m$ ) permitirá valorar las condiciones de salud que prevalecen en la zona de estudio respecto a un cierto tipo de enfermedades, para este caso, las relacionadas con el agua. Se determinará de acuerdo a la Ecuación 1.5.

$$I_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{E_i}{E_{mi}} \quad \text{Ecuación 1.5}$$

Dónde:

- n* Número de enfermedades analizadas
- $E_i$  Porcentaje de la enfermedad *i* en la zona de estudio
- $E_{mi}$  Porcentaje de la enfermedad *i* a nivel nacional

El valor de referencia para conocer las condiciones de salud existentes en la zona de estudio es la unidad, considerando lo siguiente: si  $I_m$  es menor que uno, indica que en la zona de estudio prevalecen condiciones de salud buenas, en el caso contrario, si  $I_m$  es mayor a uno, indica que las condiciones de salud son malas.

### 1.4.4 Productividad agrícola

#### Índice de productividad del suelo

El índice de productividad del suelo ( $I_{ps}$ ) permite estimar la productividad de las tierras para uso agrícola, este valor se obtendrá mediante la Ecuación 1.6.

$$I_{ps} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{P_i}{P_{mi}} \quad \text{Ecuación 1.6}$$

Dónde:

- $n$       Número de cultivos analizados
- $P_i$       Productividad del cultivo  $i$  en la zona de estudio
- $P_{mi}$       Productividad media nacional del cultivo

Con la Ecuación 1.6 se espera obtener la productividad de las tierras que se cultivan con respecto a la media nacional, por lo que un valor próximo o mayor a 1 indica que la productividad del suelo en la zona de estudio es muy cercana a la nacional, mientras que un valor muy bajo indica una baja productividad del suelo.

### 1.4.5 Medio socioeconómico

#### Índice de marginación urbana

En nuestro país las ciudades no son homogéneas respecto a las carencias que padece su población. Para estimar esta desigualdad el Consejo Nacional de Población (CONAPO) ha dividido al país en 43,640 Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) urbanas<sup>3</sup> que concentra a 86.6 millones de habitantes.

El índice de marginación urbana es una medida-resumen que permite diferenciar AGEB urbanas del país según el impacto global de las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, a los servicios de salud, la residencia en viviendas inadecuadas y la carencia de bienes (CONAPO). En la Tabla 1.3 se muestran los factores que se consideran para clasificar a una población.

<sup>3</sup> Área Geoestadística Básica (AGEB) urbana. Área geográfica ocupada por un conjunto de manzanas perfectamente delimitadas por calles, avenidas, andadores o cualquier otro rasgo de fácil identificación en el terreno y cuyo uso de suelo es principalmente habitacional, industrial, de servicios, comercial, etc.

**Tabla 1.3. Dimensiones socioeconómicas a indicadores del índice de marginación urbana por AGEB 2010**

| Dimensión socioeconómica | Indicador   |
|--------------------------|---|
| Educación                | % Población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela<br>% Población de 15 años o más sin educación básica y completa   |
| Salud                    | % Población sin derechohabiencia a los servicios de salud<br>% Hijos fallecidos de las mujeres de 15 a 49 años de edad  |
| Vivienda                 | % Viviendas particulares habitadas sin drenaje conectado a la red pública o fosa séptica<br>% Viviendas particulares habitadas sin excusado con conexión de agua<br>% Viviendas particulares habitadas sin agua entubada dentro de la vivienda<br>% Viviendas particulares habitadas con piso de tierra<br>% Viviendas particulares habitadas con algún nivel de hacinamiento |
| Bienes                   | % Viviendas particulares habitadas sin refrigerador   |

Fuente: Estimaciones del CONAPO con base en el INEGI

El índice de marginación urbana se clasifica de una forma cualitativa: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

## **2. EVALUACIÓN SANITARIO-AMBIENTAL CON CRITERIO CUENCA Y RIESGO**

---

Las evaluaciones de tipo sanitario-ambiental son por lo general cualitativas, esto debido a su gran complejidad, al extenso número de datos muy diversos que se pueden registrar y a la urgencia para tomar decisiones. La metodología que se sugiere es una guía para evaluar las condiciones ambientales existentes en la zona de estudio, de manera que cumpla con los siguientes objetivos:

- Obtener antecedentes necesarios que lleven a una adecuada planeación en función de preservar la salud humana, el mejoramiento del entorno físico así como la protección del agua de las presas.
- Contar con una guía que permita establecer un diagnóstico de la cuenca, así como evaluar las medidas de mitigación que se han implantado.
- Emplear indicadores numéricos que ayuden en la toma de decisiones
- Establecer herramientas teóricas y prácticas para estimar el daño debido a la contaminación del agua y a otros factores involucrados.
- Proponer medidas de mitigación

La metodología que se plantea es un instrumento de evaluación, en los siguientes temas se presentan las etapas a seguir.

### **2.1 Recopilación de información**

Se lleva a cabo la recopilación de todos los datos relacionados con la presa y la cuenca tributaria a través de planos, estudios previos, visitas de inspección, entrevistas, encuestas, etc.

Es recomendable, previo a la realización de las visitas de campo, contar con información necesaria y suficiente relativa a la zona de estudio que permita que quien realiza la visita tenga una noción más clara de la problemática, de los factores que están siendo afectados, y la causa de los mismos.

### 2.1.1 Visitas de inspección

En la metodología, basada en el criterio cuenca y riesgo, es indispensable realizar visitas de inspección a la zona de estudio con la finalidad de recabar información necesaria para iniciar el trabajo, estas visitas permiten tener una visión más amplia de las causas del problema así como la magnitud del mismo. Las visitas de inspección no se limitan a la observación, ya que otra fuente de información muy importante es la comunidad, a través de entrevistas y/o encuestas se puede formar un criterio en la detección de las alteraciones de los factores ambientales que pudieran afectar al ser humano y a su entorno.

Durante el desarrollo de la visita es necesario poner especial atención para detectar problemas de tipo sanitario-ambiental y de ser posible, las causas que los generan. Los problemas más comunes que se presentan son:

- Epidemias
- Epizootias
- Quejas de la población por molestias sanitarias a causa de la calidad del agua (piquetes de mosquitos)
- Existencia de sustancias peligrosas en el embalse (confirmadas con pruebas de laboratorio)
- Presencia de descargas de aguas residuales
- Color y olor desagradables del agua del embalse
- Existencia de algas, maleza y en general flora acuática dañina
- Exceso de azolves en el vaso
- Disminución notable del volumen en época de estiaje
- Operación y mantenimiento irregulares en las presas

Es indispensable considerar algunos aspectos relacionados con los estudios sanitario-ambientales, los cuales se presentan en la Tabla 2.1. También es importante tomar en cuenta el uso de agua de la presa, ya que de esto también depende su impacto, el contacto con las actividades humanas, industriales o agropecuarias.

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

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| Uso del agua                          | En el abastecimiento de agua<br>En actividades agropecuarias<br>En actividades piscícolas y recreativas<br>Como hábitat |
| Detección de fuentes de contaminación | Identificación de descargas de aguas residuales directas o indirectas con o sin tratamiento<br>Contaminación difusa     |
| Azolvamiento de presas                | Tipo de pendiente<br>Grado de deforestación y prácticas agrícolas<br>Acumulación de azolves                             |

|                    |   |
|--------------------|---|
| Población expuesta | Tipo de población<br>Tipo de asentamientos humanos<br>Morbilidad y mortalidad |
| Biodiversidad      | Flora y fauna<br>Especies en peligro de extinción<br>Especies dañinas         |

Fuente: Metodología para el estudio sanitario-ambiental de presas, caso: Presa el Centenario, Rodiles A., F (2001)

Las visitas de campo no deben realizarse de manera aislada ni como primera etapa del estudio, son también un instrumento para la verificación del funcionamiento adecuado de las medidas que se hayan implantado, es decir, como vigilancia.

### 2.1.2 Cuestionario para la recopilación de datos

Se propone el uso de un cuestionario empleado previamente para estudios del mismo tipo, con el fin de obtener y ordenar la información durante la visita. Este cuestionario se enfoca en los aspectos relacionados con la salud humana y con los factores o actividades que ejercen una mayor influencia en la calidad del agua de la presa y por lo tanto, en su aprovechamiento; la información que se solicita incluye situaciones que se manifiestan con mayor frecuencia en las presas del país que tienen problemas de contaminación de agua. El cuestionario consta de 13 puntos y no es limitativo, por lo que se permiten modificaciones con base en los antecedentes de la zona de estudio y lo observado durante la visita de inspección.

#### Cuestionario de inspección en presas para vigilancia y evaluación de riesgos sanitario-ambientales

|                   |                        |                          |  |
|-------------------|------------------------|--------------------------|--|
| Datos de la presa |                        |                          |  |
| Nombre _____      | Estado _____           | Municipio _____          |  |
| Capacidad _____   | Tipo de cortina: _____ | Región Hidrológica _____ |  |

#### 1. Características fisiográficas de la cuenca tributaria

Relieve: \_\_\_\_\_ Tipo de suelo: \_\_\_\_\_  
Erosión: Alta \_\_\_\_ Media \_\_\_\_ Baja \_\_\_\_

#### 2. Factores climáticos

Temperatura (°C): Máxima: \_\_\_\_ Media: \_\_\_\_ Mínima: \_\_\_\_  
Precipitación (mm): Media anual: \_\_\_\_ Mínima mensual: \_\_\_\_ Máxima mensual: \_\_\_\_

#### 3. Vegetación



Con base en los porcentajes de área que ocupan en la cuenca. Si no se cuenta con este dato, ordenar con número de acuerdo a su prevalencia (1 es el que más prevalece)

Bosque: \_\_\_\_\_ Pastizal: \_\_\_\_\_ Tierra cultivable: \_\_\_\_\_

4. Fauna (Mencionar las 3 especies principales)

a) Aguas arriba

Mamíferos: \_\_\_\_\_

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

Peces: \_\_\_\_\_

b) Embalse

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

Peces: \_\_\_\_\_

c) Aguas abajo

Mamíferos: \_\_\_\_\_

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

Peces: \_\_\_\_\_

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

e) Especies en peligro de extinción y su principal causa: \_\_\_\_\_

5. Flora

a) Aguas arriba

Terrestre: \_\_\_\_\_

Acuática: \_\_\_\_\_

b) Embalse

Terrestre: \_\_\_\_\_

Acuática: \_\_\_\_\_

c) Aguas abajo:

Terrestre: \_\_\_\_\_

Acuática: \_\_\_\_\_

6. Población

Urbana

| Nombre | Habitantes | Ubicación |         |
|--------|------------|-----------|---------|
|        |            | Longitud  | Latitud |
|        |            |           |         |
|        |            |           |         |
|        |            |           |         |

Rural

| Nombre | Habitantes | Ubicación |         |
|--------|------------|-----------|---------|
|        |            | Longitud  | Latitud |
|        |            |           |         |
|        |            |           |         |
|        |            |           |         |

7. Usos del agua

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

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

Público Urbana: \_\_\_\_\_ Industrial: \_\_\_\_\_ Riego: \_\_\_\_\_

Otros usos (piscícola, recreativa, etc.): No

a) Aguas abajo

Público Urbana: \_\_\_\_\_ Industrial: \_\_\_\_\_ Riego: \_\_\_\_\_

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

Plantas potabilizadoras (descripción, operación y proceso): \_\_\_\_\_

Anexar diagrama de proceso de la(s) planta(s):

8. Descargas de aguas residuales\*

Descargas municipales

| Localidad | ¿En dónde descarga? | Tratamiento | Situación actual |
|-----------|---------------------|-------------|------------------|
|           |                     |             |                  |
|           |                     |             |                  |
|           |                     |             |                  |

Descargas industriales

| Industria/Giro | ¿En dónde descarga? | Tratamiento | Situación actual |
|----------------|---------------------|-------------|------------------|
|                |                     |             |                  |
|                |                     |             |                  |
|                |                     |             |                  |

Descargas agrícolas

| Nombre | Superficie | ¿En dónde descarga? | Tratamiento | Situación actual |
|--------|------------|---------------------|-------------|------------------|
|        |            |                     |             |                  |
|        |            |                     |             |                  |
|        |            |                     |             |                  |

\*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

9. Fecalismo sobre el suelo
10. Antecedentes de contaminantes químicos tóxicos
11. Enfermedades de origen hídrico más frecuentes.

| Enfermedad | Casos reportados |
|------------|------------------|
|            |                  |
|            |                  |
|            |                  |

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

12. Quejas por contaminación (molestias sanitarias: piquetes de insectos, olores desagradables, invasión de lirio, color y turbiedad, azolve excesivo)
13. Reducción crítica de gastos (atención a la biodiversidad)

14. Operación y mantenimiento de la presa (descripción)

15. Comentarios

## 2.2 Interpretación y análisis

Una vez que se han recabado todos los datos, es importante analizarlos haciendo uso de parámetros, índices, valores para asignar una calificación de riesgo y su respectiva probabilidad de ocurrencia, los cuales, sirven para valorar el riesgo y cuantificar los daños de una forma simplificada.

Los índices ayudan a establecer criterios de medición y patrones de comparación. A pesar de la complejidad de los criterios, existen formas convencionales para su cálculo. Adicionalmente, los índices proporcionan información oportuna, precisa y concreta sobre el medio con el potencial de convertirse en herramientas para la comunicación de información, así como para facilitar la difusión de esa información a diferentes grupos de usuarios. Tales índices se calculan de acuerdo a criterios utilizados en México por distintas instituciones como la Comisión Nacional del Agua (CNA), la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y representan una herramienta práctica que nos indica el grado de alteración de factores ambientales (agua y suelo, salud, productividad agrícola).

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

**Tabla 2.2. Causas y efectos más comunes en el ambiente.**

| Problemas detectados   | Factor ambiental afectado | Efectos adversos  |
|--|---------------------------|---|
| Descargas de aguas residuales sin tratamiento o con tratamiento parcial.<br>Baja cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado.<br>Fecalismo sobre el suelo. | Agua                      | Contaminación del agua<br>Enfermedades<br>Mortalidad<br>Eutroficación                         |
| Cambio de uso de suelo<br>Naturaleza del suelo<br>Relieve con pendientes grandes<br>Prácticas agrícolas inadecuadas  | Suelo                     | Contaminación del agua<br>Erosión<br>Azolvamiento<br>Disminución de la productividad agrícola |
| Descargas de aguas residuales sin tratamiento o con tratamiento parcial.<br>Baja cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado.<br>Fecalismo sobre el suelo  | Salud                     | Enfermedades<br>Mortalidad<br>Disminución de la calidad de vida de la población               |

Fuente: Metodología para el estudio sanitario-ambiental de presas, caso: Presa el Centenario, Rodiles A., F (2001)

Una vez que se han determinado los problemas y efectos adversos se procederá a calcular el índice de riesgo, que se desarrollará de la siguiente manera:

1. Se determinará una calificación de riesgo ( $C_r$ ), obtenida a través de la consideración de los factores que alteran la calidad del agua. El rango de la calificación fluctúa de 0.1 a 1.0, correspondientes a la condición más desfavorable y a la menos alterada, respectivamente, tal calificación se representa en la Tabla 2.3. El criterio que se utilizó para la asignación de estos valores de referencia está basado en la experiencia con estudios similares, por lo que resulta indispensable que el personal que lleve a cabo la metodología esté capacitado; este método también se puede ajustar de acuerdo a las condiciones que se presenten en la región de estudio.

La tabla mencionada contiene una lista de características que deterioran el estado del agua de la presa y su entorno, dichas características se pueden relacionar con sus respectivos factores de riesgo o elementos sujetos a afectación que generalmente se observan durante la inspección.

2. A la calificación de riesgo obtenida en la Tabla 2.3, se le asocia con su probabilidad de ocurrencia ( $P$ ), 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 que ya se hayan implementado (). De igual manera que la calificación de riesgo, los valores correspondientes a la probabilidad han sido determinados con base en la experiencia y en estudios similares.
3. Posteriormente, se calcula el índice de riesgo ( $I_r$ ) con la Ecuación 2.1.

$$I_r = C_r * P$$

**Ecuación 2.1**

4. Una vez que se cuenta con los índices de riesgo, éstos se ordenan como se muestra en la Tabla 2.5. Para el presente caso de estudio 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.
5. Con base en los resultados que se obtengan, 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. Las propuestas que se elaboren pueden ser de tipo técnico, institucional o de participación social.

Tabla 2.3. Clasificación del riesgo sanitario-ambiental en presas destinadas al suministro de agua potable.

| Calificación<br>( $C_r$ ) | Características indeseables<br>de la presa  | Problemas observados<br>durante la inspección  | Riesgo   |                              |
|---------------------------|---|--|----------|------------------------------|
|                           |   |  | Nivel    | Situación                    |
| 1.0                       | Descargas de AR municipales y/o industriales cuyo caudal conjunto sea mayor al 10% del caudal de estiaje de la corriente<br><br>Descarga de retornos agrícolas de importancia > 10000 ha que viertan en forma directa o indirecta | Enfermedades y defunciones<br><br>Molestias sanitarias (quejas por piquetes de mosquitos, color y olor de las descargas, presencia de tóxicos)<br><br>Incremento de microorganismos patógenos.<br><br>Malezas acuáticas y epizootias | Muy alto | Emergencia                   |
| 0.9                       | Idem inciso anterior. Cuando el caudal conjunto sea menor del 10% y mayor del 5% del caudal medio de estiaje de la corriente  | Epidemia o epizootia   | Alto     | Deterioro Severo             |
| 0.8                       |   | Malezas acuáticas<br><br>Sólo sobreviven especies acuáticas muy resistentes  |          |                              |
| 0.7                       | Descargas de RA por el riego de < de 10000 ha y > 5000 ha, que viertan en forma directa o indirecta   | Color, olor y presencia de tóxicos<br><br>Incremento de microorganismos patógenos  |          |                              |
| 0.6                       | Descargas de AR municipales y/o industriales con caudal menor al 5% del caudal medio de estiaje de la corriente   | Incremento de microorganismos potencialmente patógenos   | Medio    | Margen de tiempo para sanear |
| 0.5                       | Descargas de RA por el riego de < de 5000 ha y > 2000 ha, que viertan en forma directa o indirecta  | Color y olor (sustancias tóxicas)  |          |                              |
| 0.4                       | Idem. Cuando el caudal sea menor del 4% y mayor del 2% del caudal medio de estiaje de la corriente  | Incremento de microorganismos potencialmente patógenos   | Bajo     |                              |
| 0.3                       | Idem. Riego > 2000 ha   |  |          |                              |
| 0.2                       | Idem. Menor al 2% del caudal medio de estiaje de la corriente   | Incremento moderado de microorganismos potencialmente patógenos  | Muy Bajo |                              |
| 0.1                       |   |  |          |                              |

FUENTE: Guía para la evaluación de Impacto Ambiental en Presas, Romero y García, AR=Aguas Residuales, RA=Retornos Agrícolas

**Tabla 2.4. Probabilidad de ocurrencia del riesgo, según su calificación y las medidas de atenuación.**

| Calificación del riesgo ( $C_r$ ) |          | 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        |

Fuente: Guía para la evaluación de Impacto Ambiental en Presas, Romero y García (1998).

**Tabla 2.5. Matriz simplificada que indica el índice de riesgo.**

| Factor de afectación   |            | Factor o elemento sujeto a afectación |           |                  |              |                       |                        |
|--|------------|---------------------------------------|-----------|------------------|--------------|-----------------------|------------------------|
|  |            | Salud Humana                          |           | Calidad del agua | Salud animal | Capacidad del embalse | Productividad agrícola |
|  |            | Epidemias                             | Molestias | Malezas          | Epizootias   | Azolve                | Baja                   |
| Abastecimiento de agua potable con potabilización parcial o nulo |            |                                       |           |                  |              |                       |                        |
| Descargas de aguas residuales                                    | Crudas     |                                       |           |                  |              |                       |                        |
|  | Tratadas   |                                       |           |                  |              |                       |                        |
| Deforestación en la cuenca tributaria                            |            |                                       |           |                  |              |                       |                        |
| Suelos con pendiente   | Alta-Media |                                       |           |                  |              |                       |                        |
|  | Baja       |                                       |           |                  |              |                       |                        |
| Viviendas con fecalismo sobre el suelo                           |            |                                       |           |                  |              |                       |                        |
| Viviendas con letrinas   | >50%       |                                       |           |                  |              |                       |                        |
|  | <50%       |                                       |           |                  |              |                       |                        |

Fuente: Modificación de la tabla de Guía para la evaluación de Impacto Ambiental en Presas, Romero y García (1998)

### 3. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA VILLA VICTORIA-SAN JOSÉ DEL RINCÓN

En este capítulo se hace una descripción de la zona de estudio con el fin de conocer la situación actual. En primer lugar se presenta la localización de la cuenca de interés; enseguida se desarrollan las condiciones del medio físico y por último el socioeconómico.

#### 3.1 Localización

La Cuenca Villa Victoria-San José del Rincón pertenece a la Región Hidrológica 18, cuenca baja del Río Balsas, se encuentra en el occidente del Estado de México, entre las latitudes 100°16 y 99°53' y las longitudes 19°40 y 19°23'. Abarca 61,926 hectáreas, 29,132 ha corresponden al municipio de San José del Rincón y 24,132 ha pertenecen al municipio de Villa Victoria, ambos municipios abarcan el 86.16% del área total de la cuenca. El área que resta se distribuye en los municipios vecinos de San Felipe del Progreso, Almoloya de Juárez, Villa de Allende e Ixtlahuaca en el Estado de México y Zitácuaro, Angangueo y Ocampo en el Estado de Michoacán. En la Figura 3.1 se observa la ubicación de los municipios que componen la cuenca.

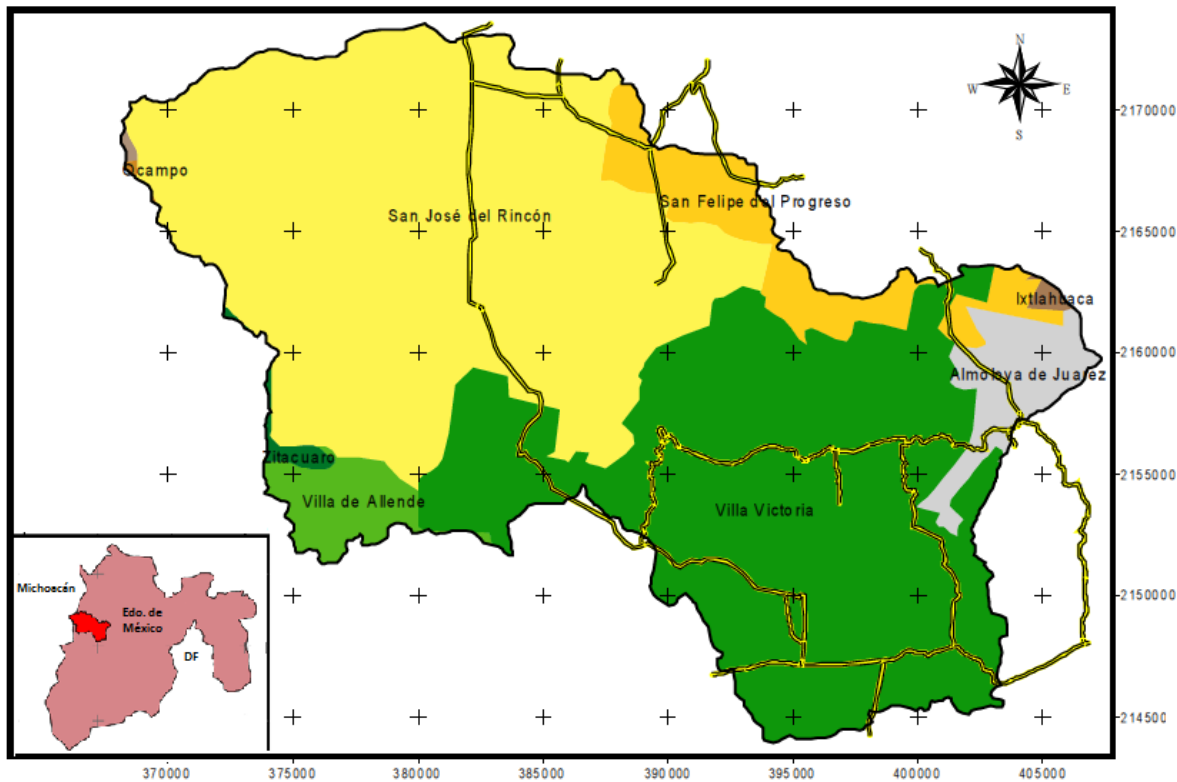


Figura 3.1. Distribución y localización de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón.



## 3.2 Medio físico

### 3.2.1 Clima

Se ubican 5 estaciones climatológicas automatizadas que tienen influencia en la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón, en la Tabla 3.1 se muestran los datos de temperatura y precipitación obtenidos a partir de las Estaciones Meteorológicas Automatizadas (EMA).

**Tabla 3.1. Información de las principales condiciones meteorológicas.**

| Estación                         | Coordenadas |             | Altura (msnm) | Temperatura (°C) |        |       | Precipitación (mm) |
|----------------------------------|-------------|-------------|---------------|------------------|--------|-------|--------------------|
|                                  | Latitud     | Longitud    |               | Mínima           | Máxima | Media |                    |
| Presa Villa Victoria             | 19°27'26"N  | 99°50'31"W  | 2245          | 5.7              | 20.6   | 13.2  | 890.8              |
| Palizada                         | 19°30'27"N  | 100°05'52"W | 2635          | 2.2              | 20.2   | 11.2  | 903.6              |
| San Felipe del Progreso          | 19°42'31"N  | 99°56'42"W  | 2550          | 5.5              | 22.6   | 14.1  | 787.3              |
| Esc. Sec. Tec. 26 Villa Victoria | 19°25'00"N  | 100°00'00"W | 2650          | 6.6              | 23.6   | 15.1  | 1,925              |
| Presa Tepetitlán                 | 19°39'45"N  | 99°57'28"W  | 2564          | 4.7              | 21.4   | 13    | 760.4              |

FUENTE: Estadísticas 1971-2010 de las EMA, Servicio Meteorológico Nacional.

Con base en la información obtenida, se sabe que el clima en la cuenca es mesotérmico, es decir, estable, su clima predominante es el subhúmedo con lluvias durante el verano. La temperatura media anual oscila entre 11 y 15 °C; en verano se presentan las lluvias, entre junio y agosto son abundantes y reducen su intensidad en septiembre, durante el invierno se registran las temperaturas mínimas. La precipitación media anual es de 1053 mm.

### 3.2.2 Geomorfología y relieve

El relieve se refiere a la altura que tiene la superficie terrestre en diferentes puntos de la geografía. El punto más bajo se registra en el embalse, en el municipio de Villa Victoria, que se ubica a una altura de 2,545 msnm. La configuración territorial de la cuenca es diversa, ya que cuenta con planicies, elevaciones orográficas, lagos, así como valles y tierras de cultivo.

Al noreste de la cuenca se pueden encontrar sierras, tales como la Cañada de Guadarrama y la Cañada del Sauce principalmente, con pendientes máximas de hasta 70%. En la parte central se identifican valles de laderas tendidas con pendientes entre 0 y 2%, mientras que alrededor del embalse predominan los lomeríos de basaltos con pendientes muy variadas y valores de alrededor de 15%. En la Figura 3.2 se puede observar un modelo de elevaciones de la cuenca.

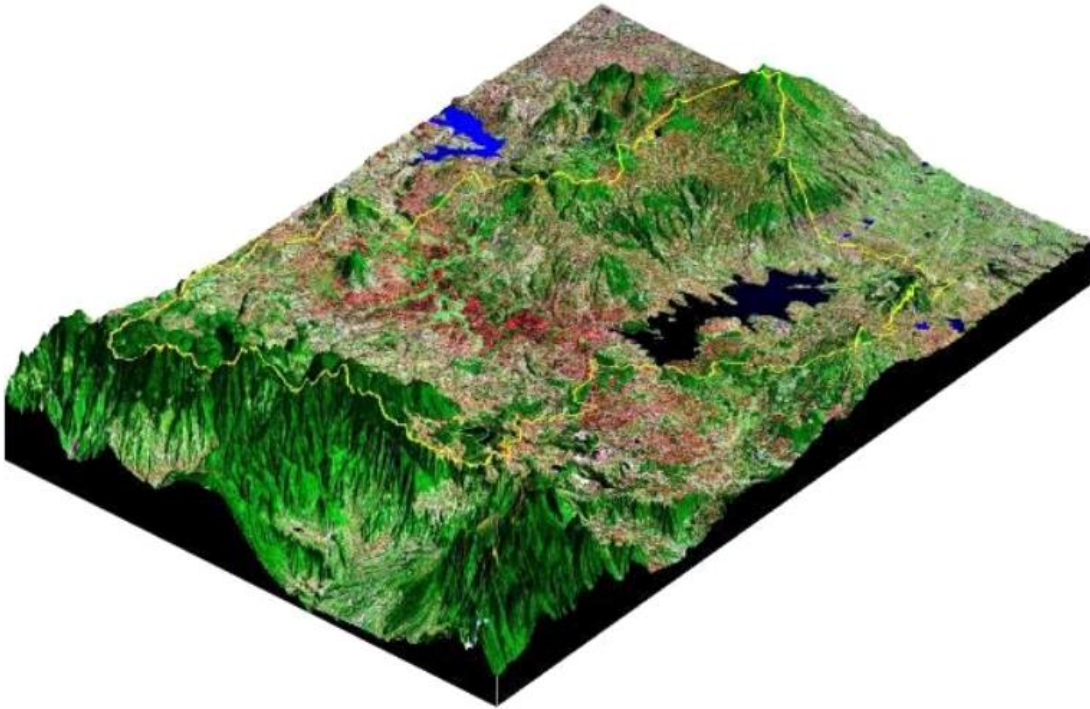


Figura 3.2. Representación del relieve en la CVVSJR. Fuente: OCAVM.

### 3.1.1 Hidrología

La Cuenca Villa Victoria-San José del Rincón pertenece a la Región Hidrológica 18 (RH18) Balsas. Cuenta con aproximadamente 667 kilómetros de corrientes con órdenes de cauce desde 1 hasta 5, presentándose algunos perennes. El río más importante es el de La Compañía, otros menos caudalosos son: el Río Prieto, el Río de los Coyotes, San José y San Marcos.

Los mantos acuíferos y manantiales son abundantes, se tienen registrados 692 en el municipio de Villa Victoria, sin embargo, este dato continúa actualizándose. En el caso del municipio San José del Rincón aún no se tiene un inventario oficial sobre los manantiales

La presa Villa Victoria es uno de los cuerpos de agua más importantes, no sólo del Estado, sino de la Zona Metropolitana del Valle de México, ya que abastece al sistema Cutzamala. Es alimentado principalmente por las aguas que descienden de las montañas provenientes del Río de la Compañía, manantiales y arroyos, tiene una capacidad de 186 Mm<sup>3</sup> y se encuentra a una altitud de 2,545 msnm; es una presa de almacenamiento cuya altura al NAME se encuentra en la cota 2,608 msnm. Las principales características de la presa se observan en la Tabla 3.2. El régimen de lluvias es de verano. Con respecto al total anual, la precipitación invernal es menor al 5%; mientras que las lluvias de verano son al menos 10 veces mayores en el mes más húmedo del verano que en el mes más seco.

Tabla 3.2. Características hidrológicas de la cuenca.

| HIDROLOGÍA               |                                  |  |
|--------------------------|----------------------------------|--|
| Aportaciones             | Gasto medido (m <sup>3</sup> /s) | Volumen (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /año) |
| Lluvia                   | 1.338                            | 42.190   |
| La Compañía              | 2.720                            | 85.800   |
| San Diego                | 0.482                            | 15.200   |
| Ramal                    | 0.119                            | 3.750  |
| El Molino                | 0.174                            | 5.500  |
| Escorrimento directo     | 0                                | 0  |
| SUMA                     | 4.833                            | 152.440  |
| Extracciones             | Gasto medido (m <sup>3</sup> /s) | Volumen (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /año) |
| Cortina                  | 3.123                            | 98.487   |
| Evaporación              | 0.832                            | 26.235   |
| Infiltraciones deducidas | 0.941                            | 29.678   |
| Total de salidas         | 4.896                            | 154.4  |

Fuente: OCAVM, 2010.

La agricultura que se practica en la región es por temporal, los principales cultivos son maíz y avena, sin embargo, en el municipio de Villa Victoria se tienen cuatro unidades de riego registradas y en operación (todas funcionan por gravedad):

- Los coyotes. Diseñada para abastecer 200 ha de riego, también es utilizada como abrevadero.
- El sitio. Actualmente riega 10 ha
- Los cedros. Riega una superficie de 269 ha
- San Juan. Riega una superficie de 60 ha.

### 3.1.2 Flora y fauna

En 1986 se emitió el decreto que define las áreas naturales protegidas para los fines de migración, hibernación y copulación de la Mariposa Monarca (*Danaus plexippus*), en el cual aparece el municipio de San José del Rincón. En 2004 se creó el programa de Conservación y Manejo del Parque Estatal “Santuario del Agua y Forestal Presa Villa Victoria” que se ubica dentro de los municipios Villa Victoria y San José del Rincón en el Estado de México.

#### Flora

La flora esta integrada principalmente por bosques de oyamel, pinos y encinos; los bosques se encuentran formados por masas puras de oyamel: *Abies religiosa*, mezcladas con *Pinus sp* y *Quercus sp*, éstas se localizan en zonas montañosas, donde la longitud varía entre 2500 y 3600 msnm, y la temperatura media entre 10 y 18 °C. El bosque de cedros se localiza en pequeños manchones, en algunas áreas de cañadas y suelos profundos con climas húmedos y frescos.

En lo que se refiere a árboles frutales, el clima de la región permite el crecimiento de capulín, tejocote, durazno, ciruelo, chabacano, pera, manzana e higo.

### **Fauna**

Existen condiciones desfavorables para el establecimiento de poblaciones de organismos de talla mayor, ya que se no se cuenta con zonas aptas debido al cambio de uso de suelo de forestal a agrícola, esto disminuye la densidad y abundancia de especies.

La especie de más relevancia es la mariposa monarca (*Danaus plexippus*). Dentro de los mamíferos, los grupos que destacan como más abundantes son los roedores y murciélagos de varios géneros, reportándose el tlacuache (*Didelphys virginianus*), ardillas, Cacomixtle (*Bassariscus astutus*) y tuzas.

En cuanto a peces, se han introducido al cuerpo de agua Carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idellus*), Carpa común (*Cyprinus carpio*), Lobina negra (*Micropterus salmoides*), éstas se consideran como especies exóticas, fueron sembradas con fines comerciales, deportivos y recreativos. Además, se encuentran especies nativas como Charal (*Chirostoma sp*) y Tilapa (*Oreochromis sp*).

### **3.1.3 Geología**

La Geología engloba el estudio de la composición, estructura, propiedades físicas, dinámica e historia de los materiales terrestres, así como los procesos que producen cambios en su forma y composición. La Cuenca Villa Victoria-San José del Rincón está ubicada dentro de la provincia geológica del Eje Volcánico, que se caracteriza por el predominio de rocas volcánicas cenozoicas. Específicamente, en la cuenca se encuentran rocas tipo andesitas, brecha volcánica, basalto y tobas y en menor proporción esquisto, volcanoclásticas, riolita y arenisca. Al interior de la cuenca no se detectan fallas geológicas importantes.

Se puede dividir en 3 secciones, la primera, al noreste de la cuenca se identifica andesita y brecha volcánica, que tienen una disgregación fácil ante el intemperismo lo que provoca que la vida vegetal sea escasa. Alrededor del embalse se observan principalmente Basalto, Esquisto y Toba, mientras que al sureste se registran suelos de tipo aluvial y volcanoclásticos, compuestos de arenas, gravas y conglomerados, junto con otros depósitos fluviales y de talud recientes.

### **3.1.4 Edafología**

El suelo predominante es el andosol, es un suelo formado a partir de cenizas volcánicas, caracterizado por lechos rocosos con profundidades entre 10 y 50 metros, y pedregosos con fragmentos mayores a 1.5 m, lo que representa una desventaja para el uso de maquinaria en la

agricultura. En condiciones naturales, el suelo es de textura esponjosa y suelta, lo que lo hace ampliamente susceptible a erosión.

Dentro de la cuenca también podemos encontrar otros tipos de suelos, como el acrisol, el cual es utilizado para la agricultura con una producción muy baja, salvo para árboles frutales. El suelo feozem es un suelo rico en materia orgánica nutriente, proveniente de los bosques y es utilizado para agricultura de riego y temporal proporcionando altos rendimientos, en las zonas ubicadas en las laderas es utilizado para la ganadería. Alrededor del embalse se puede encontrar en menor proporción suelos tipo luvisol, pluvisol y vertisol.

Los deslaves durante el verano arrastran las hojas y materia orgánica de los bosques, pudiendo hacer fértiles las tierras de cultivo.

### **3.3 Medio socioeconómico**

El análisis del medio socioeconómico es un punto de partida para entender el proceso de crecimiento y desarrollo que ha tenido la cuenca, así como para analizar y tener un panorama de escenarios futuros sustentados con base en la tendencia histórica de los municipios.

Dada la importancia e influencia de los municipios Villa Victoria y San José del Rincón en la cuenca, el análisis tomará especial énfasis en estos municipios.

#### **3.1.5 Población**

El municipio de Villa Victoria está constituido por 106 localidades que presentan un alto grado de dispersión habitacional, en la década de los 70's, un gran porcentaje de las localidades tenía una población menor a 1000 habitantes, presentándose principalmente estructuras de localidades rurales, es hasta el año 2000 cuando la cabecera municipal experimenta un proceso de urbanización. Por sus características y ubicación, el municipio ha sufrido un crecimiento demográfico moderado y natural. San José del Rincón tiene un panorama similar, fue creado en el año 2001 por la división del municipio San Felipe del Progreso.

En lo que respecta a la tasa de crecimiento demográfico, para el municipio de Villa Victoria se registra un índice de 2.52%, esta tasa de crecimiento no ha variado mucho desde la década de los 70's y en todos los casos ha sido superior a las registradas para el Estado. En la estructura poblacional predominan los jóvenes, el 68% del total de la población es menor a 30 años, también es importante destacar que el 4% de la población total es mayor de 70 años, este índice es superior al que presenta el Estado. El número de ocupantes por vivienda tiene una alta densidad para los dos municipios, siendo de 5.1 en promedio.

La población es homogénea, es decir, la composición de hombres y mujeres es similar. Se sabe que el municipio de Villa Victoria presenta una migración “de péndulo” con tendencia media a alta, es decir, las personas emigran temporalmente a trabajar sin perder la residencia, se considera una población flotante, es por ello que el municipio polariza su población con mayor número de jóvenes y ancianos. La densidad de población es baja, se han integrado localidades muy pequeñas que dificultan la dotación de servicios, haciendo de esta manera que el municipio tenga un alto índice de marginación.

### **3.1.6 Salud**

De acuerdo a información del INEGI, el 37% de los habitantes del municipio Villa Victoria cuenta con derechohabencia a servicios de salud (IMSS, ISSSTE o Seguro Popular), mientras que para el municipio de San José del Rincón el porcentaje es extremadamente bajo, con tan solo 7 puntos porcentuales, la capacidad instalada es insuficiente para acceder a servicios de salud gratuitos, las personas distribuidas en las localidades se tienen que desplazar a centros urbanos para recibir atención sólo de primer contacto, ya que para enfermedades más graves es necesario trasladarse a centros de salud en Valle de Bravo o en la Ciudad de Toluca. El personal médico al 2009 para el municipio de Villa Victoria era de 1:1210, es decir, a cada médico le correspondería atender 1210 pacientes.

El municipio San José del Rincón presenta características aún más desfavorables, únicamente el 29% de los habitantes es derechohabiente a servicios de salud, la relación médico paciente es de 1: 1427.

En Villa Victoria, se registran enfermedades de vías respiratorias en la población asentada en zonas donde se practica la agricultura, esto debido a las partículas de suelo de la capa arable y a la práctica de rosa, tumba y quema, que consiste en cambiar el uso potencial de suelo de bosque a uso agrícola. Las principales causas de defunciones, de acuerdo a la clasificación internacional de enfermedades (CIE-10/2), principalmente por enfermedades de los sistemas circulatorio, respiratorio y digestivo; en menor orden por enfermedades endócrinas, nutricionales y metabólicas y tumores.

Dados los objetivos de este trabajo, es de vital importancia conocer la incidencia de aquellas enfermedades relacionadas con el agua en la cuenca y en la República Mexicana, por lo que en la Tabla 3.3 se indican los casos reportados a nivel nacional por la Dirección General de Epidemiología (DGE) y los reportados en la cuenca por el Instituto de Salud del Estado de México (ISEM) en sus respectivos boletines epidemiológicos. Dichos reportes corresponden al periodo de enero a julio de 2012.

**Tabla 3.3. Casos reportados de enfermedades relacionadas con el agua a nivel nacional y en la cuenca.**

| Enfermedades reportadas                    | Nacional | Cuenca |
|--|----------|--------|
| Ascariasis                                 | 40135    | 66     |
| Giardiasis                                 | 9995     | 9      |
| Disentería amibiana o Amebiasis intestinal | 228303   | 1081   |
| Enterobiasis u Oxiuriasis                  | 9048     | 50     |
| Shigelosis                                 | 4953     | 22     |
| Paratifoidea y Salmonelosis                | 76995    | 144    |
| Hepatitis tipo A                           | 12185    | 118    |

Fuente: Elaborada con datos de la DGE y el ISEM.

### 3.1.7 Educación

En Villa Victoria y San José del Rincón hay escuelas de educación básica y media superior, no hay escuelas de nivel superior, debido a esta falta de infraestructura, algunos jóvenes con posibilidades de estudio han emigrado. Únicamente el 1.3% de la población ha alcanzado un nivel profesional.

En el municipio de Villa Victoria existen 252 escuelas en total, que se desglosan de la siguiente manera: 99 preescolares, 99 escuelas primarias, 5 escuelas primarias indígenas, 41 secundarias, 1 escuela de formación técnica, 1 escuela de formación para el trabajo y 6 bachilleratos. En los niveles educativos mencionados egresan alrededor de 6100 estudiantes, lo que nos indica que sólo 7.7% de la población asiste a la escuela. De acuerdo a los datos de los planes de desarrollo 3 de cada 10 niños en condición de asistir a la escuela no lo hacen y realizan actividades de apoyo a la economía familiar.

En el municipio de San José del Rincón existen 343 escuelas en total, que se desglosan de la siguiente manera: 125 preescolares, 131 escuelas primarias, 35 escuelas primarias indígenas, 47 secundarias y 5 bachilleratos. En los niveles educativos mencionados egresan alrededor de 6700 estudiantes, lo que nos indica que sólo 8.7% de la población en posibilidad de asistir a la escuela, lo hace. La tasa de alfabetización de las personas de 15 a 24 años es del 98%.

### 3.1.8 Vías de comunicación

Las principales carreteras que integran a los municipios en un ámbito regional son: la Carretera Estatal No. 42 que comunica las cabeceras municipales de Villa Victoria y San José del Rincón, entronca con la Carretera Toluca-Zitácuaro, la cual es la principal ruta de acceso a la capital del Estado.

Existen además caminos rurales de terracería que comunican las localidades con las cabeceras municipales, sin embargo, desde el año 2003 (fecha del último plan de desarrollo de los

municipios) se menciona la necesidad de la construcción de una carretera que integre a todas las localidades, ya que un porcentaje se encuentra aislado de centros administrativos y concentradores de servicios.

La red carretera municipal presenta un deterioro considerable, el estado de las vías de comunicación empeora en épocas de lluvia. El sistema de transporte de pasajeros en el interior de los municipios presenta rezagos muy significativos, ya que sólo existen corridas foráneas con dirección a Toluca, Valle de Bravo, Zitácuaro y el Oro; no existe transporte masivo urbano, tampoco suburbano, por lo que el servicio de taxis cobra un papel importante, sin embargo, el servicio es insuficiente, genera pérdida de tiempo y extensos desplazamientos para comunicarse con otras localidades y con las cabeceras municipales.

Los municipios no cuentan con infraestructura ferroviaria ni aérea

### **3.1.9 Agua potable, alcantarillado y tratamiento**

El tema de infraestructura sanitaria arroja cifras alarmantes para la cuenca, ya que, de acuerdo a información obtenida del XIII Censo de Población y Vivienda, el municipio de Villa Victoria presenta contrastes que hacen evidente el desequilibrio que existe en el interior de sus localidades.

Hay un rezago importante en el servicio de agua potable en los municipios, no satisface los requerimientos de la población. Desde hace varios años se ha mencionado la necesidad de la ampliación y el mejoramiento de la red actual, en zonas rurales se deben buscar fuentes alternas de abastecimiento, ya que, debido a la distribución espacial de la población, la dotación desde una sola fuente sería complejo y costoso. La cobertura del servicio en Villa Victoria es de 49%, mientras que en San José del Rincón es de 60%, éste último aprovecha los manantiales para el abastecimiento, pero en época de estiaje el caudal resulta insuficiente.

Al igual que la situación del agua potable, el servicio de alcantarillado se encuentra en malas condiciones. En Villa Victoria únicamente el 45% de la población está conectada a la red de drenaje, las descargas de aguas residuales se hacen directamente a los cuerpos de agua en la cuenca, sin tratamiento previo. La cabecera municipal y 5 localidades más vierten sus aguas residuales en la presa Villa Victoria, la localidad de Palizada descarga sus aguas residuales al Río Salitre y la Colonia Gustavo Baz al Arroyo Chiquito.

En San José del Rincón, únicamente el 25% de la población tiene drenaje, siendo el Río Lerma, y Balsas los principales cauces afectados por las descargas.

En la cuenca se generan 127 L/s y se considera que el tratamiento es nulo, la cabecera municipal de Villa Victoria cuenta con una planta de tratamiento de 22.5 L/s construida por CONAGUA, que



aún no opera por falta de colectores. En 2008 se construyó una planta de tratamiento de aguas residuales en la cabecera del municipio San José del Rincón, con una capacidad de 8 L/s.

El resto de las localidades son rurales (alrededor de 100) y no tienen obligación de cumplir con la NOM-001-SEMARNAT-1996, sin embargo, esta falta de infraestructura de saneamiento básico se refleja en la contaminación de suelo y fuentes de abastecimiento de agua potable.

### **3.1.10 Actividades económicas**

Los municipios San José del Rincón y Villa Victoria cubren el 86.16% del área total de la cuenca de estudio, con base en esta información el análisis de las actividades económicas se generalizará teniendo énfasis en las actividades de estos municipios. Las actividades económicas predominantes son el comercio, la agricultura y la ganadería.

En el municipio de Villa Victoria la población económicamente activa (PEA) en 2010 ascendió a 30600 habitantes, lo que representa el 32% de la población, el doble de lo que se midió en el XII Censo de Población y Vivienda. La PEA se integra en un 79% de población masculina. Para San José del Rincón el escenario es similar, la PEA ocupa únicamente un 28% de la población total, siendo el 83% de la población masculina la que contribuye a esta cifra.

#### **Actividades primarias**

Las actividades económicas primarias en la cuenca se basan principalmente en la agricultura y la ganadería, dadas las características del territorio se práctica la rotación de cultivos entre los que destacan maíz, avena, papa, canola y zanahoria con rendimientos superiores al nivel medio nacional. A pesar de que la agricultura es la actividad principal, ésta la complementan con actividades comerciales o de servicios ya que no es rentable por sí sola, en un 80% es para autoconsumo. En lo que respecta a la ganadería se tiene una actividad de cría y explotación de animales destacando las especies de bovino, porcino, caprino, equino, ovino, aves de corral, conejos y colmenas, sin embargo, se presenta la problemática de falta de infraestructura, escasa asesoría técnica y elevados costos de los alimentos adecuados para el ganado, la producción es principalmente de autoconsumo a nivel municipal y no hay impacto a nivel regional.

La silvicultura de madera, leña, carbón y la recolección de productos como lechuguilla candelilla, barbasco y resina, es para autoconsumo. Es importante señalar que la tala se realiza sin control y de manera clandestina, ocasionando una gran deforestación en gran parte de la cuenca.

Los minerales son un recurso natural no renovable que forma parte de las actividades primarias y cuyo aprovechamiento proporciona recursos económicos, que se traducen en beneficios para las comunidades, existen bancos de tezontle, tepojal y piedra ubicados en los ejidos cercanos.

### Actividades secundarias

En Villa Victoria, la actividad industrial se concentra en la operación de 33 unidades productivas, de las cuales, 2 maquilan ropa interior, 1 empaca forraje, 2 producen alambre requemado, 1 fabrica arillos de alambrón, 11 fabrican block, 7 producen lácteos, 7 dulces regionales, etc. En conjunto, estas unidades productivas generan 640 empleos.

El turismo es otra actividad llevada a cabo en el municipio, es una alternativa en el marco de estrategia de crecimiento diversificado. Pese a las carencias de infraestructura y servicios, se estima que el número de visitantes que se reciben cada fin de semana en los diferentes sitios de la cuenca, es de 6,700, en su gran mayoría familias.

### Actividades terciarias

El sector transporte tiene un lugar primordial. El transporte público de red camionera no es suficiente, según datos del municipio la relación vehículo-personas es de 39, es decir, a cada vehículo corresponde transportar en promedio 39 personas. El transporte que predomina es el taxi, también se usa la bicicleta, el caballo, el burro y la lancha.

## 3.2 Cuestionario de inspección en presas para vigilancia y evaluación de riesgos sanitario-ambientales

El cuestionario pretende mostrar una síntesis de la información obtenida mediante el análisis bibliográfico y con apoyo de las visitas de campo realizadas.

| Datos de la presa  |  |           |                           |
|--------------------|--|-----------|---------------------------|
| Nombre             | <u>Villa Victoria</u>                      | Estado    | <u>Estado de México</u>   |
| Municipio          | <u>Villa Victoria</u>                      | Capacidad | <u>186 Mm<sup>3</sup></u> |
| Tipo de cortina:   | <u>Enrocamiento revestida con concreto</u> |           |                           |
| Región Hidrológica | <u>18 (Balsas)</u>                         |           |                           |

### 1. Características fisiográficas de la cuenca tributaria

Relieve Tipo de suelo: Andosoles  
Erosión: Alta X Media \_\_\_\_\_ Baja \_\_\_\_\_

### 2. Factores climáticos

Temperatura (°C): Máxima: 20.6 Media: 13.2 Mínima: 5.7  
Precipitación (mm): Media anual: 1053 Mínima mensual: - Máxima mensual: -

### 3. Vegetación

Con base en los porcentajes de área que ocupan en la cuenca. Si no se cuenta con este dato, ordenar con número de acuerdo a su prevalencia (1 es el que más prevalece)

Bosque: 2 Pastizal: 3 Tierra cultivable: 1

4. Fauna

a) Aguas arriba

Mamíferos: tlacuache, ardilla y cacomixtle

Aves (nativas y migratorias): mariposa monarca

Peces: trucha

b) Embalse

Aves (nativas y migratorias): ibis, patos

Peces: carpa (herbívora y común), lobina negra y charal

c) Aguas abajo

Mamíferos: conejo castellano y de monte, ardillas, topos, comadrejas y tejones

Aves (nativas y migratorias): carpintero, mariposa monarca y colibríes

Peces: carpa, trucha y charal

d) Antecedentes de epizootias ocurridas en la presa y/o su entorno: No existe registro

e) Especies en peligro de extinción y su principal causa: De las especies que se tiene registro que tienen cómo hábitat la cuenca, ninguna de ellas está en peligro de extinción, sin embargo, de acuerdo a la clasificación de la NOM-059-ECOL-2001 de Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, dos de las especies se encuentran en distinto tipo de riesgo, la mariposa monarca (sujeta a protección especial) y el Cacomixtle (Amenazado)

5. Flora

a) Aguas arriba

Terrestre: Pinus sp, Cedro y Oyamel

Acuática: -

b) Embalse

Terrestre: Alrededor del embalse no se presenta flora

Acuática: fitoplancton

c) Aguas abajo:

Terrestre: *Pinus sp*

Acuática: -

## 6. Población

### Urbana

De acuerdo a las características observadas durante las visitas de campo, la cabecera municipal es la localidad más importante del municipio, siendo sus condiciones de tipo rural.

### Rural

| Nombre                | Habitantes | Ubicación  |           |
|-----------------------|------------|------------|-----------|
|                       |            | Longitud   | Latitud   |
| Villa Victoria        | 3827       | 99°59'43"  | 19°26'31" |
| San Marcos de la Loma | 3401       | 99°57'33"  | 19°30'05" |
| La Puerta del Pilar   | 2925       | 100°00'48" | 19°27'23" |
| Sitio Ejido           | 2725       | 99°54'11"  | 19°27'24" |

## 7. Usos del agua

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

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

Público Urbana: 1 Industrial: 3 Riego: 2

Otros usos (piscícola, recreativa, etc.): No

b) Aguas abajo

Público Urbana: 2 Industrial: 3 Riego: 1

Otros usos (piscícola, recreativa, etc.): No

Plantas potabilizadoras (descripción, operación y proceso): Planta potabilizadora Los Berros a 13 kilómetros (Sistema Cutzamala).

El agua es conducida por gravedad en un canal abierto, llega a la planta potabilizadora donde se mezcla con 9 efluentes que provienen de distintas presas de la región. La planta potabilizadora Los Berros tiene una capacidad para potabilizar un gasto de 20 m<sup>3</sup>/s y trabaja normalmente entre el 80

y 100% de su capacidad, tiene 5 trenes de tratamiento (con capacidad de 4 m<sup>3</sup>/s cada uno). El proceso que se lleva a cabo es de clarificación con coagulantes, filtración rápida y desinfección, se muestra en la Figura 3.3.

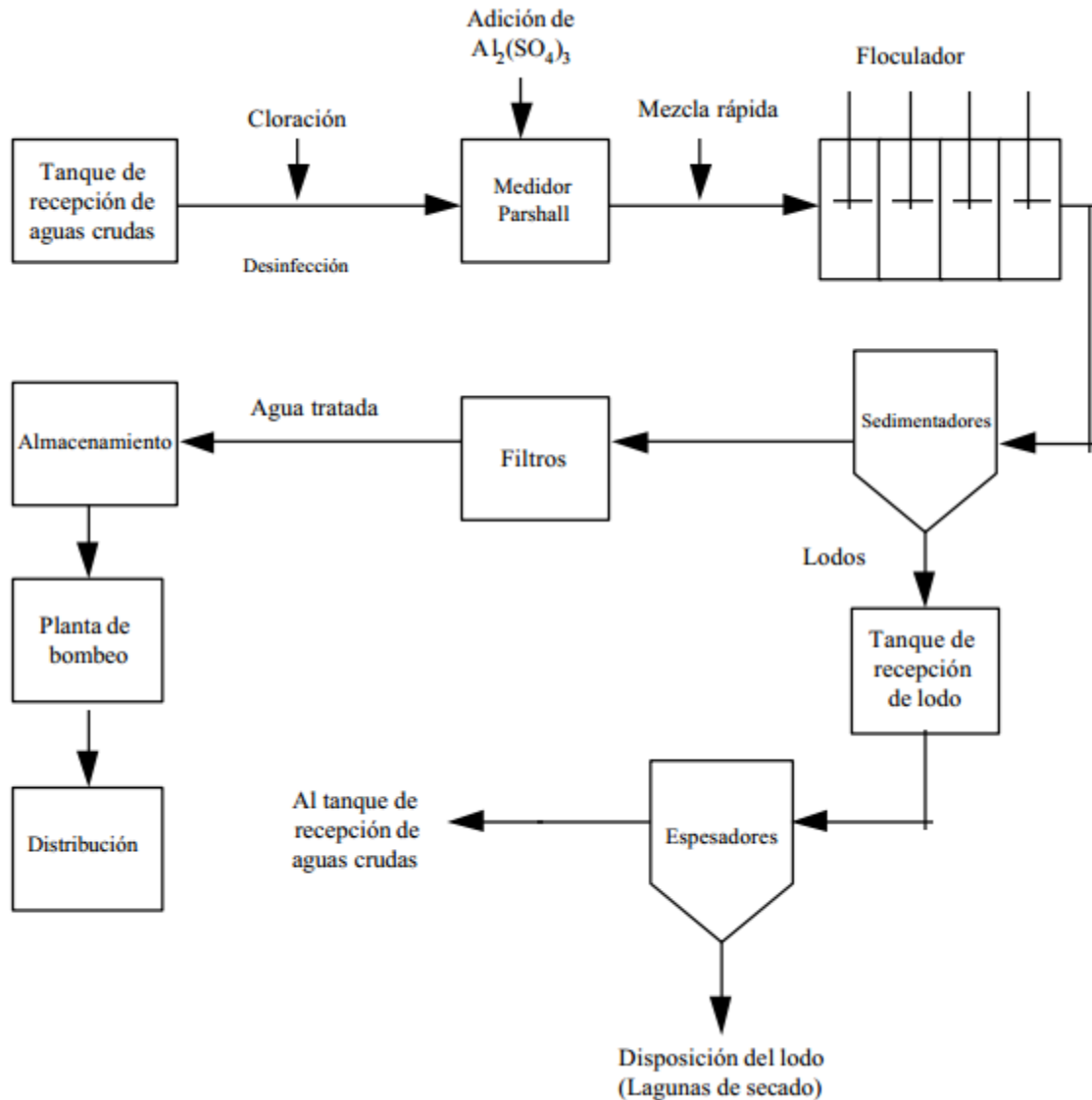


Figura 3.3. Diagrama del proceso de tratamiento de la Planta potabilizadora Los Berros. Fuente: CONAGUA

#### 8. Descargas de aguas residuales

La gran mayoría de los cuerpos de aguas presentan algún grado de contaminación, ya sea por descargas de drenaje, detergentes, agroquímicos, aceites, combustibles y en general basura de todo tipo. El volumen es descargado directamente a la presa o a los diferentes ríos que, al final, son afluentes de la presa Villa Victoria.

Descargas municipales

En la Tabla 3.4 se muestran las descargas de aguas residuales de las localidades más importantes en la cuenca. Aunado a éstas, alrededor de la presa se presentan 8 descargas directas.

**Tabla 3.4. Características de las descargas de aguas residuales de las principales localidades en la cuenca.**

| Localidad  | ¿A dónde descarga?     | Tratamiento  | Situación actual   |
|--|------------------------|--|--|
| Villa Victoria, San Diego Suchitepec, Jesús María, San Pedro del Rincón y Mina Vieja | Presa Villa Victoria   | Sin tratamiento  | En el año 2000 se construyó una Planta de tratamiento de aguas residuales con capacidad de 22.57 L/s (población al 2020 de 17330 habitantes) que no ha podido operar por la falta de los colectores  |
| Palizada   | Río Salitre            | Sin tratamiento  | No hay proyectos que impliquen tratamiento   |
| Colonia Gustavo Baz  | Arroyo Chiquito        | Sin tratamiento  | En el año 2011 se presentó la Manifestación de Impacto Ambiental promovida por la CAEM para la construcción de humedales para una planta de tratamiento de aguas residuales, la resolución fue negada en febrero del 2012. Se realizó nuevamente e ingresó 2 meses después, la resolución está pendiente. Tratará un caudal de 3 L/s |
| San José del Rincón y el Ejido   | Río Lerma              | Pretratamiento con reactor anaerobio de flujo ascendente, humedales y desinfección | En 2007 se construyó una planta de tratamiento con capacidad de 8 L/s, a la fecha se tienen registros de una operación adecuada  |
| Providencia, Palo Seco, San Joaquín Lamillas, La Soledad y San Antonio Pueblo Nuevo  | Río Lerma y Río Balsas | Sin tratamiento  | No hay proyectos que impliquen tratamiento   |

El resto de las localidades (alrededor de 150) tiene una población menor a 2,500 habitantes, por lo que no están obligadas a cumplir con la normatividad para descarga de aguas residuales.

Descargas industriales

No se descargan aguas industriales

Descargas agrícolas

Dado que no se practica la agricultura tecnificada, no se tiene registro del uso y descargas de este tipo, sin embargo, de acuerdo a las observaciones realizadas durante la visita de campo, se sabe que las descargas son de tipo difusas, no hay un tratamiento previo.

#### 9. Fecalismo sobre el suelo

La comisión de cuenca San José del Rincón Villa Victoria ha realizado distintos estudios que permiten identificar las necesidades de la cuenca, entre ellas destaca la infraestructura hidráulica sanitaria, de 57 localidades estudiadas, 26 practican el fecalismo al aire libre.

Defecar al aire libre es una mala práctica para la salud. Las heces en campo abierto se convierten en una fuente de transmisión de enfermedades. De aquí, las moscas, ratas, otros animales y el mismo hombre pueden transportar microbios, llevándolos a todos lados. Las heces fecales contienen millones de microorganismos: hongos, parásitos, bacterias. La tercera parte de la masa del excremento de una persona equivale a bacterias y de ese porcentaje la mayoría son *Escherichia coli*, de las cuales algunas podrían ser patógenas. Cuando llueve, el agua también arrastra las heces a los ríos, arroyos o pozos, contaminando estas fuentes tan necesarias para el desarrollo de las actividades diarias, el riego y otros usos.

#### 10. Antecedentes de contaminantes químicos tóxicos

Con base en la información analizada no se encontraron antecedentes de contaminantes químicos tóxicos presentados en la zona de estudio.

#### 11. Enfermedades de origen hídrico más frecuentes.

La jurisdicción del municipio de Villa Victoria corresponde a Valle de Bravo, mientras que la de San José del Rincón pertenece a Ixtlahuaca. Las enfermedades que se presentan en los boletines epidemiológicos vienen por jurisdicción sanitaria, por lo que para obtener el total de la cuenca se obtendrá un número proporcional de casos reportados de acuerdo al total de municipios que pertenezcan a la misma jurisdicción.

**Tabla 3.5. Enfermedades de origen hídrico presentadas en la cuenca.**

| Enfermedades reportadas                    | Casos reportados |
|--|------------------|
| Ascariasis                                 | 66               |
| Giardiasis                                 | 9                |
| Disentería amibiana o Amebiasis intestinal | 1081             |
| Enterobiasis u Oxiuriasis                  | 50               |
| Shigelosis                                 | 22               |
| Paratifoidea y Salmonelosis                | 144              |
| Hepatitis tipo A                           | 118              |

FUENTE: Boletines epidemiológicos ISEM, enero-julio de 2012

Antecedentes de brotes epidémicos vinculados con el agua de la presa: No hay registro

12. Quejas por contaminación (molestias sanitarias: piquetes de insectos, olores desagradables, invasión de lirio, color y turbiedad, azolve excesivo)

En las zonas donde se realiza la descarga de aguas municipales se presentan olores desagradables y espumas. No hay invasión de lirio, pero se presenta color y turbiedad, alrededor del embalse se aprecia basura de todo tipo, desde envases de plástico hasta celulares o baterías o cuerpos de animales. Hay un azolve excesivo en la presa que ha sido detectado por distintas instituciones, este azolve ha hecho perder alrededor del 50% de la capacidad de diseño de la presa.

13. Reducción crítica de gastos (atención a la biodiversidad)

En el año 2009 la presa Villa Victoria registró su nivel más bajo, de 23.3% de su capacidad, por lo que la CONAGUA suspendió la extracción de agua de la presa hasta que alcanzara un mejor nivel de almacenamiento. En general el nivel que mantiene actualmente es de alrededor del 50% de su capacidad inicial debido a problemas de azolve mencionados anteriormente.

14. Operación y mantenimiento de la presa (descripción)

De acuerdo a CONAGUA se realizan trabajos de mantenimiento de manera preventiva, sin embargo, no hay un registro de las actividades que se realizan. En el año 2009 que se presentó una reducción crítica de gastos se dio mantenimiento al canal posterior a la cortina que conduce el líquido a la planta potabilizadora. En 2012 se adquirió la instrumentación para control y medición de gastos de la presa. Se tiene información que se da un seguimiento a la calidad del agua de la presa y que actualmente hay programas de obras y acciones para la preservación de la cuenca.

15. Comentarios

Durante las visitas de campo se observaron varios aspectos:

- A pesar de que se no se observó la presencia abundante de maleza acuática en el embalse (algas), sí se detectó la presencia de fitoplancton
- Las descargas de aguas residuales en el embalse es una situación muy común, se pudieron identificar al menos 2 descargas municipales y 1 proveniente del rastro municipal.
- Hay presencia de basura en la ribera.
- En algunas partes de la presa se presenta espuma
- El lavado de ropa en el embalse (cerca de la cortina) es una práctica muy común realizada por los pobladores de las localidades cercanas debido a que no cuentan con el servicio de agua potable.



- Alrededor del embalse se encuentra prácticamente sin vegetación, se pueden apreciar pequeñas manchas con especies de pinos.
- Se observó la práctica de la pesca de algunos pobladores en puntos específicos, el destino del producto es básicamente para autoconsumo y se realiza de manera temporal.

## 4. ALTERACIÓN DE LOS FACTORES SANITARIO-AMBIENTALES EN LA CUENCA DE ESTUDIO

Actualmente, el hombre tiene la capacidad de cambiar los ecosistemas prácticamente en su totalidad. El crecimiento demográfico y la demanda por bienes y servicios, así como los avances tecnológicos han propiciado cambios que afectan al ambiente y que en un largo plazo tienen un impacto global. Para evitar tales efectos es importante conocer y medir la alteración de los factores sanitario-ambientales, lo que proporciona una idea del nivel de vulnerabilidad en la que se encuentra el ambiente, también permite conocer la situación actual para poder tomar decisiones. Prevenir suele ser más económico que restaurar, sin embargo, el deterioro no sólo cuesta económicamente remediarlo, el tiempo suele condicionar el proceso de recuperación.

### 4.1. Valoración de los parámetros e índices

#### 4.1.1. Agua

Para la evaluación del factor agua se calculará el índice de calidad del Agua (ICA). Los puntos de muestreo en el embalse se muestran en la Figura 4.1. y corresponden a las coordenadas que se indican en la Tabla 4.1.

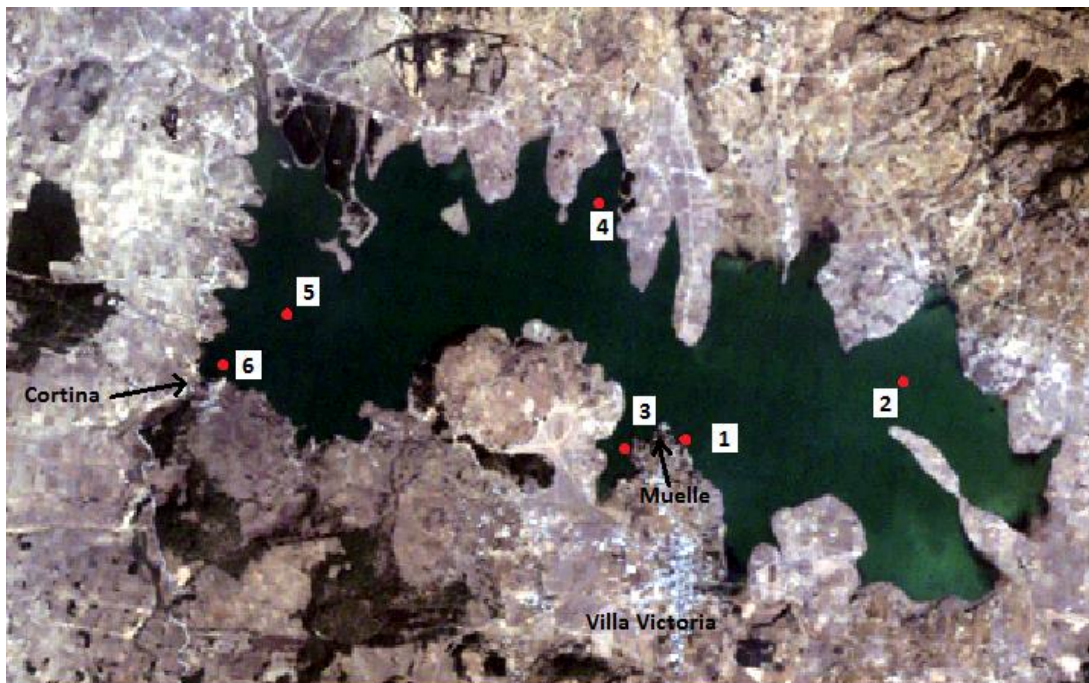


Figura 4.1. Localización de los puntos de muestreo.

**Tabla 4.1. Coordenadas de los puntos de muestreo.**

| Puntos | Coordenadas   |                |
|--------|---------------|----------------|
|        | X             | Y              |
| 1      | 19°11'11.1" N | 100°08'01.8" O |
| 2      | 19°11'01" N   | 100°08'47.2" O |
| 3      | 19°11'27.5" N | 100°08'35.6" O |
| 4      | 19°11'49.7" N | 100°09'26.3" O |
| 5      | 19°13'07.2" N | 100°08'14.1" O |
| 6      | 19°13'00.8" N | 100°08'15.7" O |

Se tomaron muestras de 6 puntos en el embalse, en el punto 1 se detectó la descarga de aguas residuales de origen municipal, de acuerdo a información obtenida en las encuestas, en el punto 2 hay un pequeño influente, en el punto 3 usualmente hay descargas del rastro municipal, en los puntos 4 y 5 también se identificaron pequeños influentes a la presa, mientras que el punto 6 fue el más cercano a la cortina, es decir, a la obra de toma que transporta el agua al Sistema Cutzamala. Es importante mencionar que el muestreo se llevó a cabo desde una lancha, por lo que en algunos casos el acceso a los sitios de interés era difícil y se procuró tomar la muestra lo más cercano posible. En campo se midieron los siguientes parámetros: oxígeno disuelto, potencial hidrógeno, sólidos disueltos y conductividad eléctrica, dichos parámetros fueron medidos con un equipo multiparamétrico, mientras que en laboratorio se midieron la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días, los coliformes totales y fecales empleando la técnica de filtro-membrana, los sólidos suspendidos, la turbiedad con un medidor nefelométrico y los fosfatos, nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal se llevaron a cabo mediante técnicas de espectrofotometría; para estas pruebas se conservaron las muestras a una temperatura de 4 °C para tener resultados confiables.

Para el cálculo del ICA consideraron los valores de los parámetros registrados en la presa Villa Victoria durante dos campañas de muestreo que se realizaron el 14 de abril (Tabla 4.2) y el 17 de junio del 2012 (Tabla 4.3), en la época de estiaje y lluvia respectivamente, se procuró que los puntos en ambas campañas fueran los mismos, teniendo en cuenta que se tenían las coordenadas precisas donde se habían tomado las muestras; las unidades en las que se indican los parámetros son las que se emplearon en el método. Los resultados se compararon con criterios de calidad de agua, con base en su uso, ya que como se sabe, la presa es utilizada como fuente de abastecimiento de agua potable a la Zona Metropolitana del Valle de México principalmente, así como en actividades recreativas, para riego agrícola, en la acuicultura y para la protección de la vida acuática en menor proporción.

**Tabla 4.2. Datos obtenidos durante la primera campaña de muestreo, en época de estiaje.**

| Parámetro       | Unidad   | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 | Punto 4 | Punto 5 | Punto 6 |
|-----------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| OD              | mg/L     | 5.96    | 6.02    | 6.82    | 7.19    | 6.94    | 6.51    |
| DBO             | mg/L     | 23      | 21      | 22      | 32      | 16      | 20      |
| CF              | NMP/ml   | 3000    | 3000    | 3000    | 3000    | 3000    | 3000    |
| CT              | NMP/ml   | 3000    | 3000    | 3000    | 3000    | 3000    | 3000    |
| CE              | μmhos/cm | 157     | 164     | 155     | 160     | 159     | 156     |
| PO <sub>4</sub> | mg/L     | 0.02    | 0.03    | 0.07    | 0.08    | 0.12    | 0.14    |
| NO <sub>3</sub> | mg/L     | 2.4     | 2.2     | 2.7     | 2       | 1.3     | 1.7     |
| NH <sub>3</sub> | mg/L     | 0.07    | 0.05    | 0       | 0.15    | 0       | 0.03    |
| pH              | pH       | 8.75    | 8.99    | 8.96    | 8.84    | 8.49    | 8.29    |
| SST             | mg/L     | 14      | 18      | 16      | 16      | 14      | 20      |
| SDT             | mg/L     | 78      | 82      | 77      | 80      | 80      | 78      |
| Turbiedad       | UTJ      | 122.55  | 133.57  | 139.65  | 141.17  | 116.09  | 117.61  |

Fuente: Elaborada con resultados obtenidos en campo y en laboratorio. OD=Oxígeno disuelto, DBO=Demanda bioquímica de oxígeno, CF=Coliformes fecales, CT=Coliformes Totales, CE=Conductividad eléctrica, PO<sub>4</sub>=Fosfatos, =Nitratos, =Nitrógeno amoniacal, pH=Potencial Hidrógeno, SST= Sólidos Suspendidos Totales, SDT=Sólidos Suspendidos Totales.

**Tabla 4.3. Datos obtenidos durante la segunda campaña de muestreo, en época de lluvia.**

| Parámetro       | Unidad   | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 | Punto 4 | Punto 5 | Punto 6 |
|-----------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| OD              | mg/L     | 6.51    | 7.58    | 6.85    | 7.7     | 7.23    | 6.09    |
| DBO             | mg/L     | 10      | 12      | 2       | 10      | 18      | 7       |
| CF              | NMP/ml   | 3000    | 3000    | 3000    | 3000    | 3000    | 3000    |
| CT              | NMP/ml   | 3000    | 3000    | 3000    | 3000    | 3000    | 3000    |
| CE              | μmhos/cm | 156     | 159     | 164     | 165     | 158     | 139     |
| PO <sub>4</sub> | mg/L     | 0.03    | 0.2     | 0.06    | 0.04    | 0.07    | 0.05    |
| NO <sub>3</sub> | mg/L     | 0.5     | 2.2     | 1.6     | 1.8     | 0.5     | 0.6     |
| NH <sub>3</sub> | mg/L     | 0.13    | 0.05    | 0.12    | 0.13    | 0.05    | 0.15    |
| pH              | pH       | 7.74    | 8.69    | 8.18    | 8.68    | 8.17    | 7.98    |
| SST             | mg/L     | 18      | 26      | 18      | 10      | 20      | 0       |
| SDT             | mg/L     | 78      | 80      | 82      | 83      | 79      | 70      |
| Turbiedad       | UTJ      | 197.6   | 319.2   | 183.73  | 185.06  | 185.63  | 172.52  |

Fuente: Elaborada con resultados obtenidos en campo y en laboratorio. OD=Oxígeno disuelto, DBO=Demanda bioquímica de oxígeno, CF=Coliformes fecales, CT=Coliformes Totales, CE=Conductividad eléctrica, PO<sub>4</sub>=Fosfatos, =Nitratos, =Nitrógeno amoniacal, pH=Potencial Hidrógeno, SST= Sólidos Suspendidos Totales, SDT=Sólidos Suspendidos Totales.

Para este estudio se analizaron 11 parámetros de los 18 que propone el método, se usaron los modelos matemáticos de dichos parámetros para homogenizarlos en un índice de calidad para posteriormente multiplicarlos por su factor de ponderación, finalmente se dividió entre la suma de los factores de ponderación que para este caso era de 28 unidades. Los resultados se muestran en la Tabla 4.4.

**Tabla 4.4. Índice de calidad del agua de las dos campañas de muestreo para cada punto.**

| ICA       | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 | Punto 4 | Punto 5 | Punto 6 | Promedio | Valor ideal |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-------------|
| Campaña 1 | 55      | 55      | 57      | 56      | 58      | 55      | 56       | 100         |
| Campaña 2 | 73      | 70      | 73      | 72      | 58      | 72      | 70       |             |

Se puede observar que la calidad del agua no varía mucho en el embalse, sin embargo, se aprecia que durante la época de lluvias la calidad del agua mejora. Con base en los resultados del ICA y en el uso que tiene el agua, su calidad se puede definir de la siguiente manera:

- Criterio general: poco contaminada
- Abastecimiento público: mayor necesidad de tratamiento
- Recreación general: aceptable, pero no recomendado
- Pesca y vida acuática: dudoso para especies sensibles
- Industrial y agrícola: sin tratamiento
- Navegación: aceptable

#### 4.1.2. Suelo

La alteración del factor suelo se evaluó mediante el índice de erosión, empleando la Ecuación 4.1, de la cual se han descrito cada uno de sus elementos previamente.

$$I_e = R + K + L + S + C + P \quad \text{Ecuación 4.1}$$

##### R - Intensidad de lluvia

El valor asignado al factor  $R$  es de 0.40. Para asignar este factor se consideraron los valores históricos máximos y mínimos de precipitación anual en la República Mexicana (1941-2005) y se compararon con los que se han presentado en la cuenca. El valor máximo registrado se tiene en el Estado de Tabasco con 2406 mm, mientras que la precipitación mínima ha sido en el Estado de Baja California Sur con 176 mm. La precipitación anual en la cuenca se obtuvo con el promedio de las 5 estaciones meteorológicas. Para determinar el valor  $R$  se hizo una interpolación, asignando al valor máximo de precipitación 1.0 y al menor 0.

Precipitación anual en la cuenca.

$$\frac{890.8 + 903.6 + 787.3 + 1925 + 760.4}{5} = 1053 \text{ mm}$$

Interpolación

$$2406 \text{ mm} \rightarrow R=1.0$$

$$176 \text{ mm} \rightarrow R=0$$

$$1053 \text{ mm} \rightarrow R$$

$$\frac{2406 - 176}{1 - 0} = \frac{1053 - 176}{R - 0} \rightarrow R = 0.40$$

En la cuenca se observan lluvias medias a bajas que se presentan principalmente en verano.

K - Erosionabilidad

La erosión de los suelos está influida por algunas propiedades de los mismos, tales como la distribución del tamaño de las partículas primarias (arena, limo y arcilla), materia orgánica, estructuras del suelo, permeabilidad, óxidos de hierro y aluminio, contenido de humedad, etc. De acuerdo a la clasificación del INEGI, en la distribución edafológica de la cuenca predominan los suelos de tipo Andosol, el cual es un suelo derivado de cenizas volcánicas caracterizado por tener una capa superficial de color negro a café oscuro y ser muy esponjoso y suelto, estas características lo hacen ser altamente susceptible a la erosión.

Dados los antecedentes del sitio, se sabe que la erosión hídrica ha causado problemas de azolvamiento en la presa, ya que los suelos tipo Andosol representan el 83% de la superficie total de la cuenca se le asignó al factor *K* un valor de 1.

L - Longitud de pendiente

En la cuenca no hay como tal un cauce principal, existen cauces importantes como el Río San José Malacatepec y el Río de la Compañía, entre otros; sin embargo, se sabe que hay alrededor de 667 km de corrientes con órdenes de cauce desde 1 hasta 5. Se hará un análisis comparativo con otras cuencas cuya área es similar a la de interés, para otorgar un valor al factor *L*, siendo representativa la siguiente relación:

$$\frac{\text{Área de la cuenca}}{\text{Longitud de los cauces}}$$

**Tabla 4.5. Área de cuencas y longitud de cauces**

| Cuenca                             | Área (km <sup>2</sup> ) | Longitud de cauces (km) | Longitud de Pendiente (km) |
|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Villa Victoria-San José del Rincón | 619                     | 667                     | 0.92                       |
| Del Fuerte                         | 590                     | 670                     | 0.88                       |
| Río Piaxtla                        | 473                     | 220                     | 2.15                       |
| Río Coatán                         | 773                     | 103                     | 7.50                       |

Fuente: Elaborada con datos de CONAGUA

Dados los resultados obtenidos (expresados en la Tabla 4.5), se otorgó una calificación al factor *L* de 0.2, ya que la longitud de pendiente es pequeña.

S - Gradiente de la pendiente

De acuerdo a la información geomorfológica de la cuenca, se sabe que la cuenca presenta un relieve irregular, sin embargo, el gradiente medio oscila entre 15 y 20%, siendo considerado este

como moderado. De acuerdo a rangos de pendientes que se clasifican en la Tabla 4.6 se ha asignado un valor de 0.55 al factor *S*.

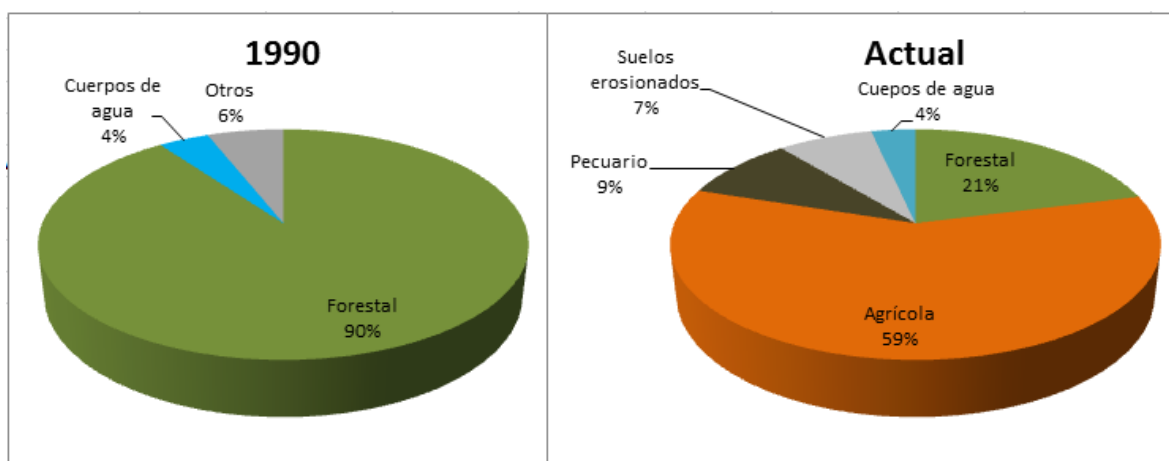
**Tabla 4.6. Rangos de pendientes.**

| Pendiente (grados) | Pendiente (%) | Concepto   | Principales características | Valor sugerido <i>S</i> |
|--------------------|---------------|------------|-----------------------------|-------------------------|
| 0-2                | 0-4.5         | Horizontal | Erosión nula o leve         | 0.1                     |
| 2.1-5              | 4.6-11        | Suave      | Erosión leve, difusa        | 0.30                    |
| 5.1-10             | 11.1-22       | Moderada   | Erosión moderada a fuerte.  | 0.55                    |
| 10.1-20            | 22.1-44.5     | Fuerte     | Erosión intensa             | 0.65                    |
| 20.1-30            | 44.6-67       | Muy fuerte | Movimientos de masa         | 0.85                    |
| 30.1-45            | 67.1-100      | Escarpada  | Suelo inestable             | 0.95                    |
| > De 45            | > De 100      | Acantilada | Desprendimiento, derrumbes  | 1.00                    |

Fuente: Modificación de Clasificación de pendientes. Araya, Vergara y Borgel 1972; Young 1975; y Ferrando 1993.

### C - Cubierta vegetal

La distribución de la superficie de la cuenca, con base en sus usos se presenta en la Figura 4.2, dicha distribución ha cambiado drásticamente a uso agrícola y pecuario favoreciendo los procesos de erosión en un corto periodo de tiempo, por lo que se le asigna un valor de 0.95.



**Figura 4.2. Uso de suelo en la cuenca. Fuente: Problemática de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón. Fuente: CCVVSJR**

### P - Control de la erosión

La recuperación de la cuenca con acciones de conservación de suelo y agua no son sólo asunto de importancia local, sino también lo es para la Zona Metropolitana del Valle de México, que se ve beneficiada de la presa Villa Victoria con el aporte de 4 m<sup>3</sup>/s de agua para abastecimiento al Sistema Cutzamala. En 2008 se creó la Comisión de la Cuenca Villa Victoria-San José del Rincón, sin embargo, a la fecha únicamente se ha generado un programa de obras y acciones para la preservación de la cuenca, por lo cual se considera que las medidas que se han tomado son insuficientes y se otorgó un valor de 0.90 a este factor.

En la Tabla 4.7 se muestran los valores asignados a cada factor.

**Tabla 4.7. Resumen de factor del índice de erosión.**

|          | Factor                    | Valor asignado |
|----------|---------------------------|----------------|
| <i>R</i> | Intensidad de lluvia      | 0.40           |
| <i>K</i> | Erosionabilidad           | 1.00           |
| <i>L</i> | Longitud de pendiente     | 0.20           |
| <i>S</i> | Gradiente de la pendiente | 0.55           |
| <i>C</i> | Cubierta vegetal          | 0.95           |
| <i>P</i> | Control de erosión        | 0.90           |

Aplicando la Ecuación 1.4, se obtiene:

$$I_e = 0.40 + 1.00 + 0.20 + 0.55 + 0.95 + 0.90 = 4.00$$

Lo que indica que en general la cuenca tiene un grado de erosión de moderado a alto.

#### 4.1.3. Salud

Las enfermedades de interés para esta evaluación son aquellas relacionadas con el agua, su análisis se realizó por medio del índice de morbilidad, en el cual se consideraron 7 enfermedades. En la Tabla 4.8 se muestran las enfermedades y los casos reportados de las mismas en la República Mexicana y en la cuenca durante el periodo de enero a julio del 2012.

**Tabla 4.8. Casos reportados de enfermedades relacionadas con el agua a nivel nacional y en la cuenca.**

| Enfermedades reportadas                    | Nacional | Cuenca | % Nacional | %Cuenca |
|--|----------|--------|------------|---------|
| Ascariasis                                 | 40135    | 66     | 0.0357     | 0.0412  |
| Giardiasis                                 | 9995     | 9      | 0.0089     | 0.0056  |
| Disentería amibiana o Amebiasis intestinal | 228303   | 1081   | 0.2032     | 0.6756  |
| Enterobiasis u Oxiuriasis                  | 9048     | 50     | 0.0081     | 0.0312  |
| Shigelosis                                 | 4953     | 22     | 0.0044     | 0.0137  |
| Paratifoidea y Salmonelosis                | 76995    | 144    | 0.0685     | 0.0900  |
| Hepatitis tipo A                           | 12185    | 118    | 0.0108     | 0.0737  |

Fuente: Modificado de la DGE e ISEM, 2012

Se descartaron aquellas enfermedades relacionadas con el agua en las que se han reportado casos en la República Mexicana, pero que no se han registrado en la cuenca, tales como cólera Leptospirosis, Dengue, Meningitis, Tuberculosis y Poliomieltis.

Como primera parte se obtuvo el porcentaje de enfermedades en relación a su población. De acuerdo con información del INEGI al 2010, la población era de 112,336,538 habitantes, mientras que en la cuenca se estima una población de 160,011 habitantes. Posteriormente se empleó la Ecuación 1.5.



$$I_{ps} = \frac{1}{7} \left( \frac{0.0412}{0.0357} + \frac{0.0056}{0.0089} + \frac{0.6756}{0.2032} + \frac{0.0312}{0.0081} + \frac{0.0137}{0.0044} + \frac{0.0900}{0.0685} + \frac{0.0737}{0.0108} \right) = 2.89$$

De acuerdo al resultado obtenido, se concluye que las condiciones de salud en la cuenca son malas.

#### 4.1.4. Productividad agrícola

De la superficie total de la cuenca, se sabe que el 59% del suelo está destinado a la agricultura. Los cultivos que se siembran en la cuenca son: maíz, avena, papa, canola y zanahoria principalmente, estos 5 cultivos representan el 83% de lo que se siembra en la cuenca, en la Tabla 4.9 se muestra el resultado de un análisis de rendimiento en la zona de estudio, así como el rendimiento a nivel nacional del mismo cultivo, la productividad agrícola se evaluará mediante el índice de productividad del suelo ( $I_{ps}$ ), que permite estimar la productividad de las tierras para uso agrícola.

Tabla 4.9. Rendimiento de los principales cultivos de la zona de estudio.

| Cultivo   | Nacional (Ton/Ha) | En la cuenca (Ton/Ha) |
|-----------|-------------------|-----------------------|
| Maíz      | 2.91              | 1.37                  |
| Avena     | 9.89              | 24.26                 |
| Papa      | 26.27             | 24.62                 |
| Canola    | 1.24              | 3.00                  |
| Zanahoria | 26.96             | 28.00                 |

Fuente. Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP), 2011

Empleando la ecuación 1.6, se tiene que el índice de productividad del suelo es:

$$I_{ps} = \frac{1}{5} \left( \frac{1.37}{2.91} + \frac{24.26}{9.89} + \frac{24.62}{26.27} + \frac{3.0}{1.24} + \frac{28.0}{26.96} \right) = 1.46$$

El valor obtenido para el  $I_{ps}$  es muy alto, supera en un 46% a la productividad media nacional, por lo que se puede concluir que la productividad agrícola en la cuenca es muy buena, y que hasta el momento no se ha visto afectada por otros factores ambientales.

#### 4.1.5. Aspectos sociales

De acuerdo al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) la clasificación de la cuenca según el tamaño de las localidades que la componen es rural, ya que más del 50% de la población vive en localidades con menos de 2500 habitantes. El índice de marginación se clasifica de una forma cualitativa: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, siendo el último el más

desfavorable. Como se sabe, los municipios que tienen una mayor influencia en la cuenca y que incluso, ocupan más del 80% de su área son San José del Rincón y Villa Victoria, ambos municipios pertenecen a la Región V: Atlacomulco y tienen un grado de marginación alto (Figura 4.3), ocupan la quinta y sexta posición a nivel estatal respectivamente, lo que indica que en la cuenca en general se presenta un impacto global de carencias.

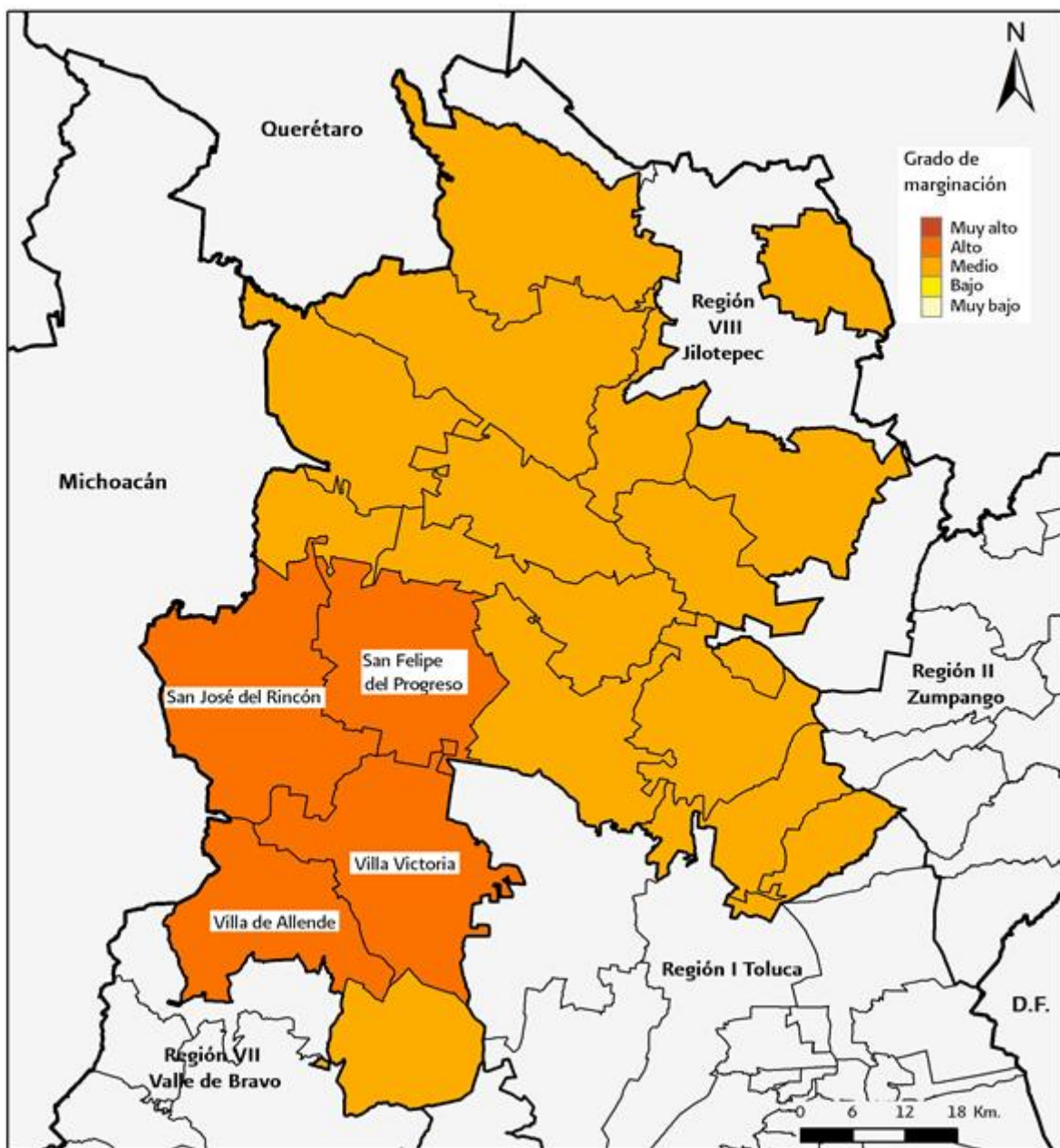


Figura 4.3. Grado de marginación por municipios (Estado de México). Fuente: CONAPO, 2012.

## 4.2. Identificación de causas y efectos

Durante las visitas de inspección se observaron diversas condiciones que se expresan a continuación:

- En algunas zonas de la presa (principalmente al oriente) se presenta una coloración verdosa, como se puede observar en la Figura 4.4.
- Descargas de aguas residuales municipales (DARM) sin tratamiento (Figura 4.5.-Figura 4.7), también la existencia de una descarga de aguas del rastro municipal (sin tratamiento), aunque durante la visita no se observó ninguna descarga, la zona presentaba una coloración rojiza y olores desagradables. En estos mismos puntos se observó la presencia de fauna nociva y en las laderas acumulación de residuos sólidos de distinta naturaleza, como plásticos, textiles, aparatos electrónicos, entre otros.
- Alrededor de la presa se observan tubos de concreto que debían ser colectores que transportaran el agua del alcantarillado municipal a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Villa Victoria, dicha planta no se encuentra operando actualmente.
- Debido a la baja cobertura en los servicios tanto de agua potable, alcantarillado y tratamiento, las personas de los municipios vecinos realizan la práctica de lavado de ropa en las orillas de la presa (Figura 4.8), llevando a cabo esta actividad por lo menos una vez a la semana; en estas zonas se detectan espumas y basura de detergentes y suavizantes.
- Deforestación en la zona. Alrededor de la presa se presentan características de un suelo árido.
- No obstante que la pesca no es una práctica común, sí se lleva a cabo por algunas personas de localidades vecinas para autoconsumo (Figura 4.9), sin embargo, las personas entrevistadas comentaron que esta actividad ha disminuido en los últimos años y que sólo encuentran peces en zonas específicas. En las visitas de campo también se observaron peces muertos de manera aislada.

En la Tabla 4.10, Tabla 4.11 y Tabla 4.12 se expresan las causas y efecto de los factores que han sido afectados.



Figura 4.4. Coloración y espumas que se presenta en distintos puntos del embalse.



Figura 4.5. Descargas de Aguas Residuales Municipales (DARM) de San Pedro del Rincón y El Espinal. Fuente: Programa de obras y acciones para la preservación de la CCVVSJR



Figura 4.6. DARM de San Pedro del Rincón y El Libramiento. Fuente: ídem anterior



Figura 4.7. DARM de Los Padres y Los Dólares. Fuente: ídem anterior



Figura 4.8. Práctica de lavado de ropa que se realiza frecuentemente en el embalse.



Figura 4.9. Práctica de pesca por habitantes de las localidades cercanas.

Tabla 4.10. Causas y efectos del factor afectado agua.

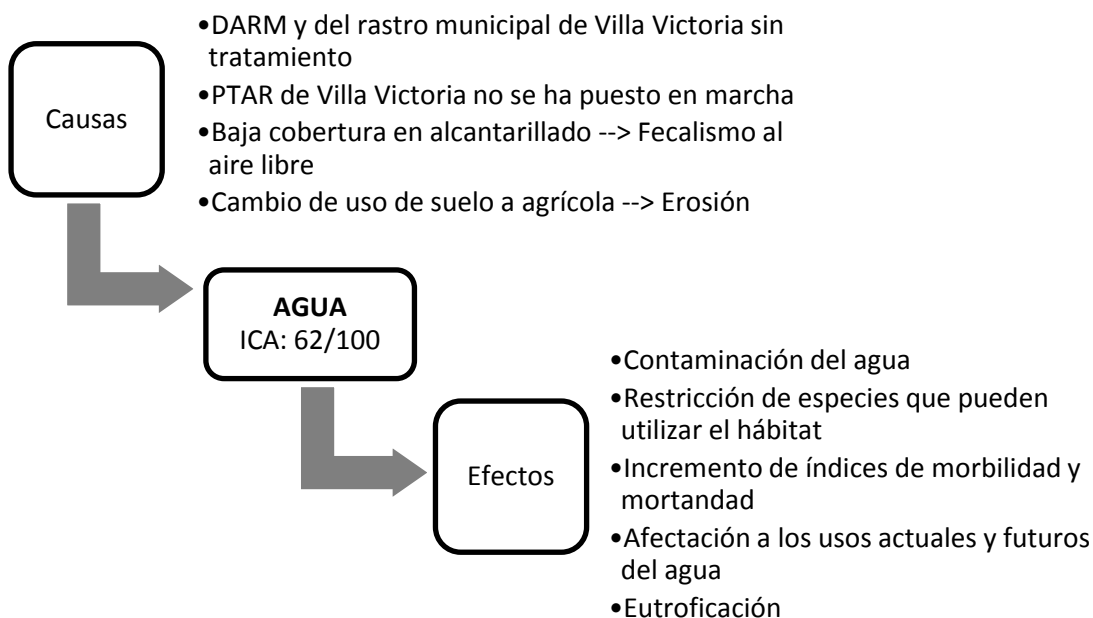


Tabla 4.11. Causas y efectos del factor afectado suelo.

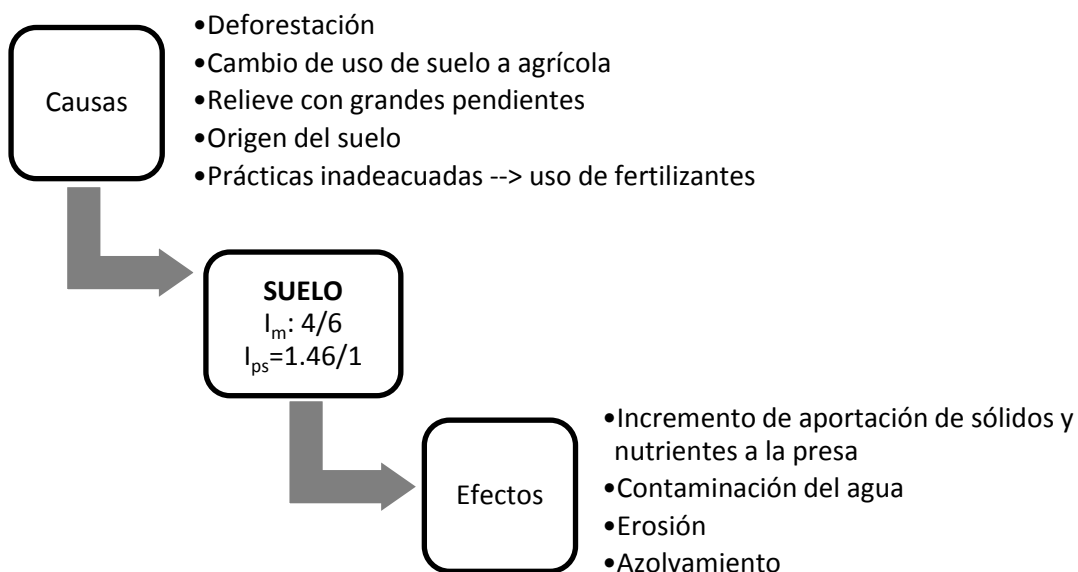
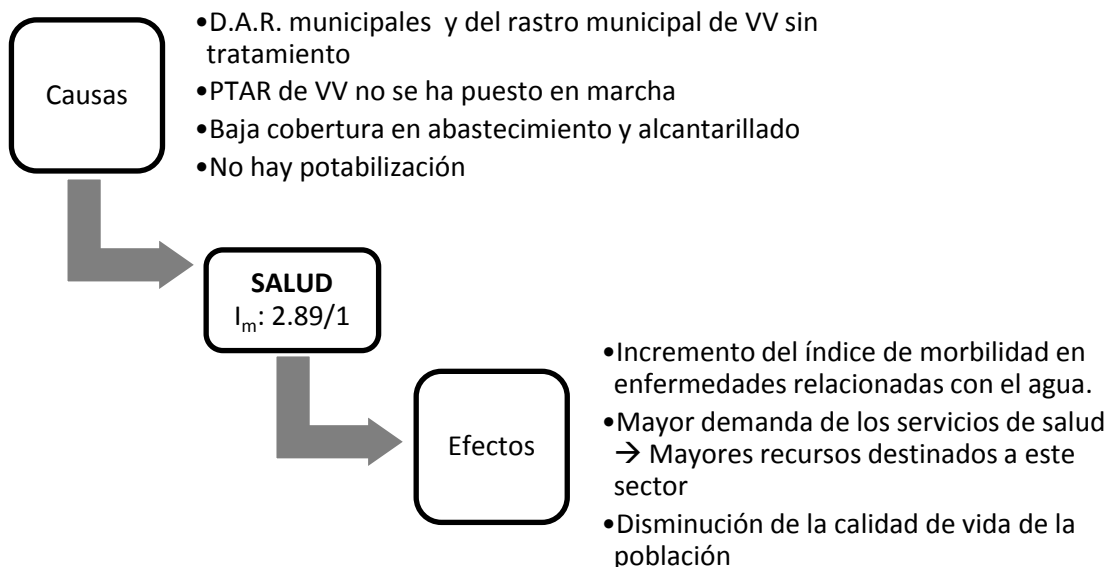


Tabla 4.12. Causas y efectos del factor afectado salud



### 4.3. Índice de riesgo

De acuerdo a las características observadas durante las visitas de inspección, del uso del agua, así como del antecedente de la disminución de volumen en dicha presa en los últimos años, se determinaron las magnitudes de calificación de riesgo y su probabilidad de ocurrencia para obtener el índice de riesgo específico en presas destinadas al suministro de agua potable en lo referente a calidad del agua.

#### Calificación de riesgo

Haciendo uso de la tabla 2.3, la calificación de riesgo determinada para este caso es de:

$$C_r = 0.8$$

Esto debido a las características existentes en la presa, no obstante que no se midió el caudal de estiaje de la corriente ni el de las descargas de aguas residuales, se sabe que éstas no reciben tratamiento y aunque no todo el caudal descarga directamente a la presa, de alguna manera llegan a ella, así mismo los problemas observados en la inspección corresponden a esta calificación. Por consiguiente, la zona de estudio se encuentra bajo un riesgo **alto**, esta situación se hace evidente por el deterioro severo de los factores ambientales.

### Probabilidad de ocurrencia

Considerando a la Tabla 2.4, para una calificación de riesgo correspondiente a un nivel alto, se tienen tres opciones para asignar el valor a la probabilidad. Debido a que el principal agente contaminante es la descarga de aguas residuales municipales sin tratamiento y no hay proyectos o programas que tengan como objetivo la operación de la planta de tratamiento como medida de mitigación, el valor de probabilidad de ocurrencia asignado es:

$$P = 0.9$$

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

$$I_r = C_r * P = 0.8 * 0.9$$

$$I_r = 0.72$$

Una vez que se ha obtenido este valor, se calcula el índice de riesgo para cada uno de los demás factores que también se ven afectados por el deterioro en la calidad del agua. Los resultados se indican en la Tabla 4.13.

**Tabla 4.13. Matriz simplificada del índice de riesgo**

| Factor de afectación   |            | Factor o elemento sujeto a afectación |                         |                         |                         |                         |                         |
|--|------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|  |            | Salud Humana                          |                         | Calidad del agua        | Salud animal            | Capacidad del embalse   | Productividad agrícola  |
|  |            | Epidemias                             | Molestias               | Malezas                 | Epizootias              | Azolve                  | Baja                    |
| Abastecimiento de agua potable con potabilización parcial o nulo |            |                                       |                         |                         |                         |                         |                         |
| Descargas de aguas residuales                                    | Crudas     | 0.8x0.90<br><b>0.72</b>               | 0.8x0.70<br><b>0.56</b> | 0.8x0.90<br><b>0.72</b> | 0.8x0.30<br><b>0.24</b> |                         |                         |
|  | Tratadas   |                                       |                         |                         |                         |                         |                         |
| Deforestación en la cuenca tributaria                            |            |                                       |                         |                         |                         |                         |                         |
| Suelos con pendiente   | Alta-Media |                                       |                         |                         | 0.8x0.50<br><b>0.40</b> | 0.8x0.99<br><b>0.79</b> | 0.8x0.30<br><b>0.24</b> |
|  | Baja       |                                       |                         |                         |                         |                         |                         |
| Viviendas con fecalismo sobre el suelo                           |            |                                       |                         |                         |                         |                         |                         |
| Viviendas con letrinas   | >50%       | 1.0x0.90<br><b>0.90</b>               | 1.0x0.50<br><b>0.50</b> | 1.0x0.99<br><b>0.99</b> |                         |                         |                         |
|  | <50%       |                                       |                         |                         |                         |                         |                         |



#### 4.4. Interpretación y análisis de riesgos

##### Abastecimiento de agua potable con potabilización parcial o nula

La calificación de riesgo asignada en la presa Villa Victoria fue de 0.8, que corresponde a uno de los niveles más altos de riesgo de acuerdo a la Tabla 2.3, situación que indica un deterioro severo de las condiciones ambientales. Una de las principales causas de esta situación son las descargas de aguas residuales municipales sin tratamiento. Las condiciones de riesgo alto se hacen evidentes por la presencia de fitoplancton, que no obstante su importancia en la cadena alimentaria, también puede ser responsable de muchos problemas ecológicos, como es el caso que se presenta en el embalse, donde debido al exceso de nutrientes (fósforo y nitrógeno) se han multiplicado rápidamente, lo que ha propiciado un color verdoso; aunque el oxígeno disuelto medido en las dos campañas representa un valor adecuado en general para la vida acuática, el crecimiento excesivo de estas algas podría llevar al agotamiento de oxígeno y en consecuencia a la muerte de peces y otros organismos que ahí habiten.

Si bien no se ha presentado un crecimiento desmesurado de algas ocasionando que el agua se tiña de color dependiendo de los pigmentos dominantes que posea-efecto mejor conocido como *bloom*- en esta presa recientemente, sí ha ocurrido en otras de las presas del sistema, en julio de 2012 se presentó el caso en Valle de Bravo, donde hubo una contingencia y se suspendió la extracción de agua de esta fuente de abastecimiento debido al bloom de cianobacterias, que si bien no se ha comprobado científicamente su peligrosidad en los seres humanos, se sabe que son altamente tóxicas para las especies acuáticas (flora y fauna) y producen efectos en el agua como coloración, olores y sabores desagradables, etc.; otra de las medidas que también se tomó fue la suspensión de las actividades recreativas, ya que el contacto directo con el agua producía irritación en la piel.

Las cianobacterias son especies de fitoplancton que forman grandes colonias, principalmente en cuerpos de agua con alto nivel trófico, se aprecian a simple vista como manchas incrustadas sobre la superficie de color verde azulado, incluso también son conocidas como “algas verde-azules”. Existen factores que favorecen la presencia de cianobacterias como la temperatura (mayor a 18 °C), las condiciones de luz-energía (primavera-otoño), la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y un pH alto (6.5-8.5); también la eutrofización antrópica o cultural (por la actividad humana) originada por descargas de aguas residuales domésticas, industriales y de retorno agrícola se ha convertido en un factor significativo.

Las toxinas que liberan las cianobacterias pueden ser dañinas dependiendo de su concentración y su capacidad para originar efectos agudos y crónicos en el hombre, en animales y en vegetales. Anteriormente sólo se había asociado con la muerte de animales, sin embargo, en Brasil se ha asociado con 88 muertes y 50 casos de daños renales en seres humanos relacionados con la presencia de toxinas de cianobacterias en el agua de consumo, así mismo en Inglaterra, Holanda, Hungría, Alemania y Dinamarca han reportado niveles de toxicidad superior al 70% en las

cianobacterias; por lo anterior, se ha visto la necesidad de reevaluar si su presencia en fuentes de abastecimiento constituye un peligro para la salud. Es importante aclarar que no todos los florecimientos de cianobacterias son tóxicos.

En el sistema Cutzamala, desde el año 1998 se han registrado florecimientos de cianobacterias en las presas que lo componen, en estos sitios, durante casi 6 meses se observa la presencia de estas algas, presentándose las concentraciones más altas en los meses de junio. En el año 2001 se alcanzaron las máximas concentraciones de toxinas producidas por cianobacterias.

En lo que se refiere a la probabilidad de ocurrencia asignado para calidad del agua (malezas), se determinó que era de 0.9, valor que corresponde a la inexistencia de medidas de atenuación, es decir, que al momento no hay estrategias ni tácticas ambientales para proteger la fuente de abastecimiento. Este valor es alto, y si la situación continua, la afectación en este recurso será cada vez más evidente.

En cuanto a la probabilidad de ocurrencia, se asignaron los siguientes valores a los elementos afectables.

- Salud humana: se asignó un valor de 0.9 a epidemias y de 0.7 a molestias, la primera se determinó con base en el índice de morbilidad, calculado con la incidencia de enfermedades relacionadas con el agua y de no tomarse medidas, el problema podría complicarse. En lo que respecta a las molestias se consideró que las medidas de atenuación eran insuficientes, ya que en los últimos años se ha estado promoviendo el desarrollo turístico de la presa con fines recreativos sin advertir a los visitantes el posible riesgo que implicaría el contacto (debido a las descargas de aguas residuales sin tratamiento).
- Salud animal: se determinó una probabilidad de 0.3, pese a que no hay medidas de atenuación el nivel de riesgo es bajo, hay presencia de vida acuática y no se han registrado epizootias.

En años anteriores se había demostrado que la cloración era insuficiente para eliminar toxinas provenientes de algas, estudios más recientes indican sí hay una destrucción rápida (95% con un tiempo de contacto de 30 minutos) con una solución de cloro o hipoclorito de calcio. Otros procesos efectivos en la eliminación de toxicidad es el ozono y el carbón activado. La desinfección en la planta potabilizadora “Los Berros” del Sistema Cutzamala (aguas abajo de la presa Villa Victoria) se lleva a cabo mediante cloro gas, por lo que aunque la normatividad oficial mexicana vigente no considera a las cianobacterias dentro de sus parámetros de calidad se debe tener presente su posible presencia. Durante la contingencia en julio de 2012 se implementó un pretratamiento con al agua proveniente de la presa Valle de Bravo de carbón activado.

### **Deforestación en la cuenca tributaria**

Teniendo al tipo de suelo como agente principal causante de erosión, su correspondiente aportación de azolves a la presa, que ha disminuido el volumen útil de alrededor del 50% y que en general, en la cuenca se ha observado y estimado un grado de erosión alto, se le ha asignado una calificación de riesgo de 0.8. La probabilidad de ocurrencia para los elementos afectados es la siguiente:

- Salud animal: el valor que se asignó fue de 0.5, ya que los azolves contribuyen al deterioro de la calidad del agua y en consecuencia al pleno desarrollo de ecosistemas acuáticos.
- Capacidad del embalse: las pendientes en la cuenca son de tipo moderadas (su gradiente varía entre 15 y 20%), si bien se han iniciado proyectos para disminuir la erosión en la cuenca y por lo tanto la afectación a la presa, estos no han producido resultados satisfactorios aún, lo que sí se ha visto es una disminución de la capacidad útil de la presa y la suspensión temporal de la extracción de agua por parte de la CONAGUA en los últimos años, por lo que se determinó un valor de 0.99. Incluso en las visitas de inspección hubo sitios en los cuales la lancha no tenía acceso debido a los bajos niveles de agua.
- Productividad agrícola: aunque se tienen medidas insuficientes para la protección de actividades agrícolas, el índice de productividad del suelo refleja que éste factor no se ha visto afectado y que incluso, muestra condiciones favorables, por lo que se asignó una probabilidad de ocurrencia de 0.3.

### **Viviendas con fecalismo sobre el suelo**

Con base en los datos de INEGI que muestran que la cobertura del servicio de alcantarillado es baja, se consideró una calificación de riesgo de 1.0. En promedio, en la cuenca únicamente el 35% de las viviendas están conectadas a una red de drenaje, mientras que el resto realiza la práctica de fecalismo al aire libre. A través del programa SEDESOL se ha promovido la construcción de letrinas y se han alcanzado niveles importantes de cobertura según el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México.

- Salud humana: entre los microorganismos presentes en las heces fecales pueden existir patógenos, los cuales son los principales causantes de enfermedades gastrointestinales y se sabe que en la zona de estudio el índice de morbilidad calculado con las enfermedades relacionadas con el agua es alto, es por ello que el valor asignado para epidemias es de 0.9. Para el caso de molestias, se determinó un valor de 0.5, considerando el grado de exposición de este factor causado por la falta o mal funcionamiento de obras sanitarias.
- Calidad del agua, el valor asignado es de 0.99 ya que no obstante la introducción de letrinas, éstas no realizan un tratamiento como tal. Por otra parte, en época de lluvias, el

agua también arrastra las heces a los ríos, arroyos o pozos, contaminando las fuentes de abastecimiento.

Como se explicó en el capítulo 2, el valor máximo para la calificación de riesgo es de 1 y para la probabilidad de ocurrencia es de 0.99, por lo que el valor máximo del índice de riesgo es de 0.99, de los resultados expresados en la matriz simplificada, se obtuvo que los valores promedio para los elementos afectados son los que se expresan en la Tabla 4.14, considerando que todos los factores que alteran dichos elementos tienen la misma importancia.

**Tabla 4.14. Resultados del índice de riesgo.**

| Elemento sujeto a afectación |           | Índice de riesgo |
|------------------------------|-----------|------------------|
| Salud humana                 | Epidemias | 0.81             |
|                              | Molestias | 0.53             |
| Calidad del agua             |           | 0.86             |
| Salud animal                 |           | 0.32             |
| Capacidad del embalse        |           | 0.79             |
| Productividad agrícola       |           | 0.24             |

#### **4.5. Medidas de mitigación**

Entre las principales recomendaciones de la OMS, el establecimiento de perímetros de protección alrededor de la fuente de abastecimiento con vitales para para un manejo integral del agua. Las tres zonas de protección que se sugieren son:

- Inmediata (alrededor de la fuente de abastecimiento). De decenas a pocas centenas de metros
- De prevención. En función del tiempo de transferencia de un agente contaminante en el suelo
- Exterior. La cuenca

Establecer dichos perímetros permite tener un mejor control de la calidad del agua y evitar la contaminación de la misma.

En México existe un marco normativo que regula la explotación, uso y aprovechamiento de aguas nacionales, la vigilancia es uno de los principales factores que contribuyen a mantener las condiciones óptimas (en lo referente a calidad) de los cuerpos de agua, por lo que es importante que las autoridades competentes hagan cumplir la legislación vigente en materia ambiental.

En este apartado se mencionarán las principales acciones que se han llevado a cabo en beneficio de cualquiera de los elementos ambientales de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón.

En 2004 se creó el parque estatal “Santuario del Agua y Forestal Presa Villa Victoria”, ubicado en los municipios de Villa Victoria y San José del Rincón, Estado de México y para 2008 fue expedido el Programa de Conservación y Manejo del mismo con el fin de planear, guiar y controlar el aprovechamiento, protección, conservación y restauración de los recursos naturales de la zona. En el mismo documento se realiza un diagnóstico y se plantea la problemática que se vive en la cuenca.

La CONAGUA, en conjunto con los tres niveles de gobierno de competencia en la zona de estudio buscó en 2007 la instalación de la “Comisión de Cuenca Villa Victoria-San José del Rincón”, y fue un año después que se constituyó como tal, con el propósito de tener una adecuada gestión integral del agua y recursos asociados de la cuenca y de coordinación de objetivos, metas, políticas, programas, proyectos y acciones, de conformidad con las normas y principios de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, ya que la atención a la problemática resultaba insuficiente para el Consejo de Cuenca del Valle de México. A partir de ello, surge el “Programa de obras y acciones para la preservación de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón, Estado de México”, que incluye un “Programa rector de manejo integral de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón”, en el cual se establece un plan de ordenación y manejo integral para cada subcuenca, que incluye las inversiones para obras y acciones para el mejoramiento de la calidad del agua y sus recursos asociados en el corto, mediano y largo plazo, así como para el saneamiento general de la cuenca; en dicho documento también se hace una promoción del uso adecuado del agua y del suelo; algunas de las medidas que se mencionan son:

- La construcción de pequeñas presas (altura de 1 a 3 metros) de distintos materiales - llantas, morillos, ramas- de acuerdo al orden de cauce de los ríos para la reducción de erosión, el control de azolves, propiciar condiciones favorables para el establecimiento de cobertura vegetal y para la protección de obras de infraestructura rural.
- La reforestación múltiple, fertilización de praderas, suavización de taludes y la plantación de barreras vivas son algunas de las acciones que se proponen para el mejoramiento de laderas.
- Instalación de tanques sépticos y letrinas. Construcción de lagunas de estabilización (anaerobias, facultativas y de maduración), de filtros de arena que funcionen por gravedad y de humedales artificiales, que en conjunto cumplan con los requerimientos de descarga en cuerpos de agua que la ley señala.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

## Generales

La metodología que se ha propuesto incluyó la valoración de los factores más relevantes de acuerdo a los propósitos que se persiguieron en este trabajo de tesis, dichas valoraciones, permitieron pasar de una evaluación cualitativa a una cuantitativa, que hace más fácil la medición de los impactos, así como la identificación de manera rápida y sencilla de los problemas que provocan el deterioro ambiental.

Se comprobó que con la aplicación de esta metodología se puede elaborar de forma rápida y segura un diagnóstico de la situación ambiental, por lo que representa una ventaja si este proceso es aplicado por instituciones u organismos en las presas que tienen a su cargo, lo que conlleva a un ahorro de recursos técnicos, económicos y financieros; sin embargo, se requiere de capacitación para el personal no especializado

## De los resultados

Con base en los resultados obtenidos, la salud humana, la calidad del agua y la capacidad del embalse son los elementos que mayormente han sido afectados por las condiciones específicas que se presentan en la cuenca, el índice de riesgo indica una alta posibilidad de daño en estos sectores si las condiciones no cambian. Es importante poner especial énfasis en la salud humana, ya que es determinante para el desarrollo social y económico. Para el caso de la salud animal y la productividad agrícola se presenta un índice de riesgo bajo, hasta el momento no se han visto afectados, sin embargo, el riesgo existe y dado que la agricultura es una de las actividades primarias de la zona y con características de autoconsumo, se debe tener especial cuidado con los factores que la afectan.

La distribución espacial de las localidades dificulta la adecuada prestación de servicios. El principal factor que daña las condiciones en la cuenca es el bajo índice de coberturas en lo referente a los servicios públicos urbanos, en especial los de potabilización, suministro de agua, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, siendo estos dos últimos la principal causa de las descargas de aguas residuales directa o indirecta en la presa Villa Victoria, dicho factor convierte la cuenca en un lugar propicio para la presencia de microorganismos patógenos; lo que se ha hecho evidente con un alto índice de morbilidad en enfermedades relacionadas con el agua y a su respectiva demanda en los servicios de salud.

El cambio de uso de suelo de forestal a agrícola es otro de los factores determinantes en la afectación de los elementos ambientales y sociales.

La tendencia de la presa Villa Victoria es a la eutroficación según indican estudios realizados desde 1999, la presencia de fitoplancton (cianobacterias) también representa de manera indirecta un índice de eutroficación, ya que esta característica (alta concentración de nutrientes) es una de las que favorecen los *blooms* de estas algas.

### **De las medidas de mitigación implantadas**

No obstante que se han implantado varias medidas de atenuación para mejorar las condiciones de la cuenca, el tiempo suele condicionar el proceso de recuperación. La mayoría de las medidas se han puesto en marcha en fechas muy recientes (última década) y muchas de ellas aún no han producido resultados.

La construcción de la planta que tratará las aguas residuales provenientes de la cabecera municipal fue una buena medida, sin embargo, nunca se puso en operación, por lo que la eficacia de la medida fue baja.

A pesar de que se han construido letrinas y tanques sépticos obteniendo coberturas aceptables en algunas localidades, éste no es un tratamiento como tal y el mal manejo de los mismos representa un riesgo para la población. En el caso de los tanques sépticos que son recomendados como un tratamiento de aguas negras en zonas rurales, la mayoría de los que han sido construidos en la cuenca se han hecho por los mismos pobladores sin las especificaciones técnicas requeridas para que cumplan con un tratamiento primario adecuado, incluso se debe considerar que los tanques sépticos contemplan únicamente la primera etapa de un tratamiento y no son una disposición final, sin embargo, estas medidas reflejan el interés de la población en la contribución con el ambiente.

En general el “Programa rector de manejo integral de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón” tiene una visión limitada respecto al concepto de manejo integral de cuenca, ya que si bien las soluciones que se proponen sí tendrán resultados en un cierto periodo de tiempo, no representan una solución a la problemática. Como ejemplo se cita la construcción de pequeñas presas de distintos materiales y alturas que impedirán el azolvamiento de la presa; sin embargo, no se tiene una medida adecuada para evitar el arrastre de partículas provenientes de los suelos destinados a la agricultura, no se tiene un registro de los fertilizantes que se usan y no se capacita a los agricultores a evitar prácticas inadecuadas. En este caso, aunque en un corto plazo se reducirá el problema de azolvamiento, no se eliminará el problema de erosión que continuará acumulando material de arrastre en las pequeñas presas.

### **Recomendaciones**

Es prioridad establecer perímetros de protección alrededor de la presa, dichos perímetros ayudarían a preservar la calidad inicial del agua y por lo tanto a mejorar la eficacia en el tratamiento que se está aplicando, lo cual también tendría impacto en la calidad de vida de las personas que ahí habitan.

Se debe informar al público usuario de los cuerpos de agua (tanto de su uso recreativo como de abastecimiento) sobre los riesgos que implica hacer uso de esta cuando se tenga conocimiento de la presencia de cianobacterias (tóxicas). La información se debe ampliar también a aquellos que afectan la calidad del agua de la presa, como los que realizan descargas de aguas residuales directa o indirectamente.

Como se sabe, el sistema Cutzamala está sujeto a las condiciones (tanto hidrológicas como físicas) de sus elementos, en épocas recientes las presas han mostrado condiciones no aptas para su uso principal (consumo humano) de manera temporal; debido a la importancia de la presa como provisor de agua para la ZMVM es indispensable un monitoreo de los factores involucrados y su evolución. En lo que respecta a la calidad del agua es indispensable realizar pruebas (posterior a la potabilización) incluso de parámetros que no están incluidos en la norma, pero de los cuáles se tiene conocimiento de su presencia y de su posible daño a la salud humana.

Existen diversas técnicas para el monitoreo de la calidad del agua, de acuerdo a estudios de caso realizados en Europa, se sugiere implementar un sistema de alerta mediante biodetectores, basado en el registro de reacciones de ciertas especies -animales o vegetales- a la contaminación del agua. El uso de percepción remota es otra de las herramientas que ayuda en la detección de cambios en la calidad del agua, ya que existen ciertos parámetros cuya variación puede ser medida a través de los sensores de los satélites. Los resultados obtenidos mediante esta técnica han arrojado resultados confiables, aunado a su bajo costo y al corto periodo de tiempo en el que se obtiene la información, el uso de la percepción remota es cada vez más frecuente.

De acuerdo al artículo 115 constitucional, el municipio es el responsable de la prestación de servicios públicos urbanos como abastecimiento de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, entre otros. Por la distribución geográfica de las localidades en la cuenca se sugiere la desinfección como único tratamiento, en México, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) recomienda las “cajas solares”, que consiste en exponer el agua a los rayos del sol durante un periodo de tiempo determinado en el cual se inactivan las bacterias hasta en un 99.9%. Sin embargo, deben realizar previamente estudios de calidad para caracterizar el agua, ya que esta opción de desinfección es eficiente con una turbiedad baja.

El tratamiento de aguas residuales es otra necesidad, es urgente que se ponga en operación la PTAR de Villa Victoria, que fue ejecutada por la CONAGUA desde el año 2000; lo que requerirá la planeación, diseño y construcción de las redes de atarjeas y colectores faltantes. En el año 2011, la Comisión de Agua del Estado de México (CAEM) estimó que se requieren alrededor de \$ 200,000.00 únicamente para las pruebas de operación.

Es necesaria la construcción y mantenimiento de infraestructura de agua potable, alcantarillado y saneamiento; y es probable que a través de sus propios ingresos, el municipio sea incapaz de tener estos recursos, sin embargo, existen aportaciones fiscales federales a las que se podría tener acceso - previa elaboración de proyectos – a través de la relación gobierno estatal-CONAGUA. Por la condición que predomina en la cuenca, en la que la mayoría de las localidades son de tipo rural, el programa de Sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales



(PROSSAPYS) se vuelve una opción muy atractiva, ya que dichas aportaciones van de 80 a 100% del total de la propuesta técnica-económica. El PROSSAPYS debe incluir un diagnóstico, por lo que dicho trabajo se vuelve una herramienta útil para ser empleada como antecedente.

El aspecto económico es uno de los más importantes, el municipio, como ente responsable de la prestación de servicios públicos urbanos, también tiene que buscar la eficiencia comercial en su gestión; esto toma importancia cuando se conoce la situación económica de la población; por ello se sugieren campañas de promoción de los beneficios de tener adecuados servicios, principalmente en lo que respecta a la salud, que permitan que la sociedad participe en la instalación, operación y mantenimiento de las obras que se realicen.

## FUENTES DE CONSULTA

---

Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo", CENTROGEO (2013), **Variación del Nivel y el Índice de Calidad del Agua**, Análisis de la Calidad del Agua en Lagos, México.

César V, E. & Vázquez G., A. (1994), **Impacto ambiental**, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.

CONAGUA (2007), **Paquetes tecnológicos para el tratamiento de excretas y aguas residuales en comunidades rurales**, México.

CONAGUA (2009), **Programa de obras y acciones para la preservación de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón, Estado de México**, Segunda etapa, México

CONAGUA (2010), **Informe final: Seguimiento de la calidad del agua de las presas Valle de Bravo, Villa Victoria y El Bosque del Sistema Cutzamala, 2010**, México

CONAGUA (2011) **Estadísticas del agua en México**, Capítulo 4: Infraestructura Hidráulica del Valle de México

CONAGUA (2012), **Manual de Operación y Procedimientos del Programa de Sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en Zonas (PROSSAPYS III)**, México

CONAPO (2010), **Estado de México, Región V: Atlacomulco, Grado de marginación por municipio**, México.

[http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices\\_de\\_Marginacion\\_2010\\_por\\_entidad\\_federativa\\_y\\_municipio](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices_de_Marginacion_2010_por_entidad_federativa_y_municipio)

Dirección General de Epidemiología, DGE (2012), **Información epidemiológica**, Informes de morbilidad (reportes mensuales), México

[http://www.dgepi.salud.gob.mx/2010/plantilla/00\\_morbilidad\\_index.html](http://www.dgepi.salud.gob.mx/2010/plantilla/00_morbilidad_index.html)

Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua de CONAGUA (1999), **Índice de Calidad del agua**, México

INE (2009) **Priorización y recomendaciones de acciones de conservación en las subcuencas del sistema Cutzamala**, México

INIFAP, UNAM & SHL (2002), **Reporte de la Iniciativa de la Ganadería, el Medio Ambiente y el Desarrollo (LEAD)**, Capítulo 8: Legislación Ambiental en México

Instituto de Salud del Estado de México, ISEM (2012), **Boletines Epidemiológicos**, México  
[http://salud.edomexico.gob.mx/html/vista\\_subepibol.php](http://salud.edomexico.gob.mx/html/vista_subepibol.php)

- Menéndez M, C. (2012), Apuntes de clase de Evaluación de la Calidad del Agua, Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, México
- Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso o consumo humano. Límites máximos permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría Salud
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.
- Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.
- Organización Mundial de la Salud, OMS (2013), **Hojas informativas sobre enfermedades relacionadas con el agua**, Agua, Saneamiento y Salud  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/diseasefact/es/index.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diseasefact/es/index.html)
- Orozco y Berra, M, **Geografía de las lenguas y Carta etnográfica de México: precedidas de un ensayo de clasificación de las mismas lenguas y de apuntes para las inmigraciones de las tribus**, Imprenta de J. M. Andrade y F. Escalante, México, 1864.
- Plan de Desarrollo Urbano Villa Victoria, Estado de México 2009-2012
- Plan de Desarrollo Urbano San José del Rincón, Estado de México 2009-2012
- PNUMA Oficina Regional para América Latina y el Caribe (2003) **Indicadores Ambientales**, Panamá
- PROFEPA (2010). Normatividad Ambiental, México  
[http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/32/1/mx/normatividad\\_ambiental.html](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/32/1/mx/normatividad_ambiental.html)
- Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Villa Victoria, México 2009
- Rangel O, C. (2011), **Evaluación Sanitario-Ambiental de la presa Valle de Bravo**, Tesis de especialización, Facultad de Ingeniería, UNAM México
- Rodiles A., F. (2001), **Metodología para el estudio sanitario-ambiental de presas, caso: Presa el Centenario**, Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- Romero A., H. y García O., J. (1998) **Guía para la evaluación de Impacto Ambiental en Presas**, Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, México.

- Rosas I. et al (2004), **Microbiología Ambiental**, Ed. Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA), Capítulo 4: Cianobacterias, microorganismos del fitoplancton y su relación con la salud humana, México.
- SEMARNAT (2005), **Informe de la situación del medio ambiente en México: Compendio de estadísticas ambientales**, Capítulo 7: Agua, México
- SEMARNAT (2012), **Normas Mexicanas Vigentes**, México  
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Documents/comitetecnico/FOLLETO%20NORMAS%20MEXICANAS%20VIGENTES.pdf>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP (2012), **Cierre de la producción agrícola por cultivo**, México  
[http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=350](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350)
- SMN (2012), **Normales Climatológicas por Estación**, México  
[http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=42&Itemid=75](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75)
- Tebutt T., H. (1996), **Fundamentos de control de calidad del agua**, Ed. Limusa, México.
- Trejo M., C. et al. (2004) **Aseguramiento Metrológico de la planta potabilizadora de agua del sistema Cutzamala**, Simposio de Metrología 2004, México
- World Resources Institute, WRI (2001), **A Guide to World Resources: People and Ecosystems, The Fraying Web of Life**, Washington D.C.