

## Análisis y Evaluación de la Información

### CONTENIDO E ÍNDICES

<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN .....</b>	<b>5-1</b>
5.1	ANTECEDENTES .....	5-1
5.1.1	<i>Desarrollo de Información en Sistema de Información Geográfica .....</i>	<i>5-2</i>
5.1.2	<i>Levantamiento con Sistema de Posicionamiento Global de las Descargas Puntuales de Agua Residual en la Cuenca Directa.....</i>	<i>5-12</i>
5.2	EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUA Y DE TOXICIDAD EN LAS DESCARGAS Y EN EL RÍO VERDE Y AFLUENTES PRINCIPALES.....	5-23
5.2.1	<i>Calidad del Agua del Río Verde.....</i>	<i>5-23</i>
5.2.2	<i>Calidad del Agua de los Afluentes Principales al Río Verde .....</i>	<i>5-28</i>
5.2.3	<i>Metales Pesados en el Río Verde y Afluentes Principales .....</i>	<i>5-31</i>
5.2.4	<i>Toxicidad Aguda en el Río Verde y Afluentes Principales .....</i>	<i>5-34</i>
5.2.5	<i>Contaminantes Básicos en las Descargas de Agua Residual de Tipo Industrial .....</i>	<i>5-37</i>
5.2.6	<i>Contaminantes Básicos en las Descargas de Agua Residual Municipal Cruda .....</i>	<i>5-38</i>
5.2.7	<i>Contaminantes Básicos en las Descargas de Granjas Porcícolas .....</i>	<i>5-39</i>
5.2.8	<i>Contaminantes Básicos en los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales 5-41</i>	
5.2.9	<i>Metales Pesados en los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales ...</i>	<i>5-42</i>
5.2.10	<i>Metales Pesados en las Descargas de Agua Residual.....</i>	<i>5-43</i>
5.2.11	<i>Toxicidad Aguda en las Descargas de Agua Residual .....</i>	<i>5-46</i>
5.3	COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE ESTE TRABAJO CON LOS ANTERIORES (2002-2003) .....	5-50
5.4	CALIDAD DEL AGUA A LO LARGO DEL RÍO VERDE .....	5-56
5.5	MODELO DE CALIDAD DEL AGUA QUAL2K DEL RÍO VERDE.....	5-61
5.5.1	<i>Descripción del Modelo QUAL2K .....</i>	<i>5-61</i>
5.5.2	<i>Resumen de Variables .....</i>	<i>5-67</i>
5.5.3	<i>Características de las Secciones de Estudio .....</i>	<i>5-72</i>
5.5.4	<i>Ubicación y Composición de las Descargas .....</i>	<i>5-73</i>
5.5.5	<i>Calibración del Modelo .....</i>	<i>5-74</i>
5.5.6	<i>Modelación de Presa el Zapotillo y Arcediano .....</i>	<i>5-79</i>

### ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 5-1 Relación de Ortofotos Digitales Utilizadas para el Proyecto de ArcView .....</i>	<i>5-11</i>
<i>Tabla 5-2 Relación de las Descargas Directas en la Zona de Estudio .....</i>	<i>5-14</i>
<i>Tabla 5-3 Relación de las Descargas Indirectas en la Zona de Estudio.....</i>	<i>5-17</i>
<i>Tabla 5-4 Clasificación del Agua Superficial de Acuerdo a la Concentración de Contaminantes<sup>4</sup>.....</i>	<i>5-23</i>
<i>Tabla 5-5 Concentración Promedio de Contaminantes en las Estaciones de Monitoreo del Río Verde y Lagos, mg/L a menos que se Indique otra Unidad .....</i>	<i>5-24</i>
<i>Tabla 5-6 Clasificación de la Calidad del Agua del Río Verde y Lagos de Acuerdo al Parámetro Evaluado .....</i>	<i>5-25</i>
<i>Tabla 5-7 Concentración Promedio en Estaciones de Monitoreo de los Afluentes Principales y Algunos de sus Tributarios, mg/L a Menos que se Indique Otra Unidad .....</i>	<i>5-28</i>
<i>Tabla 5-8 Clasificación de la Calidad del Agua de los Afluentes Principales de Acuerdo al Parámetro Evaluado ....</i>	<i>5-29</i>
<i>Tabla 5-9 Concentración de Metales Pesados y Cianuro en los Afluentes Principales del Río Verde, Valores en mg/L</i>	<i>5-32</i>

<i>Tabla 5–10 Valores Máximos Fijados en los Lineamientos de Calidad del Agua de la LFDMA, mg/L</i> .....	5-32
<i>Tabla 5–11 Resultados de las Pruebas de Toxicidad en el Río Verde y Lagos, (1ª campaña / 2ª campaña)</i> .....	5-35
<i>Tabla 5–12 Resultados de las Pruebas de Toxicidad en los Afluentes Principales al Río Verde y Algunos de sus Tributarios</i> .....	5-35
<i>Tabla 5–13 Escala de Toxicidad Aguda Aplicable al Río Verde y sus Afluentes Principales (Institute for Inland Water Management &amp; Waste Water Treatment of Nederland)<sup>5</sup></i> .....	5-36
<i>Tabla 5–14 Concentración de Contaminantes Básicos en las Descargas de Agua Residual de Diversas Industrias, mg/L (Excepto Cuando se Especifique)</i> .....	5-37
<i>Tabla 5–15 Contaminantes Básicos en las Descargas de Agua Residual Municipal Cruda, mg/l Excepto Cuando se Especifique</i> .....	5-39
<i>Tabla 5–16 Concentración de Contaminantes en el Agua Residual según su Carga</i> .....	5-39
<i>Tabla 5–17 Contaminantes Básicos en las Descargas de Agua Residual de Granjas Porcícolas, mg/l (Excepto cuando se Especifique)</i> .....	5-40
<i>Tabla 5–18 Contaminantes Básicos en las Descargas de Agua Tratada de las PTAR Municipales, mg/l Excepto que se Indique Otra Unidad</i> .....	5-42
<i>Tabla 5–19 Metales Pesados y Cianuro en las Descargas de Agua Tratada de las PTAR Municipales, mg/L</i> .....	5-43
<i>Tabla 5–20 Límites Máximos Permisibles Fijados en la NOM-001 para Metales Pesados y Cianuros, mg/L</i> .....	5-44
<i>Tabla 5–21 Resultados de Metales Pesados y Cianuro en las Descargas de Agua Residual Caracterizadas, mg/L</i> .....	5-44
<i>Tabla 5–22 Resultados de las Pruebas de Toxicidad Aguda con Vibrio fischeri</i> .....	5-46
<i>Tabla 5–23 Resultados de las Pruebas de Toxicidad Aguda con Daphnia magna</i> .....	5-47
<i>Tabla 5–24 Escala de Toxicidad Aguda Aplicable a Aguas Residuales (Institute for Inland Water Management &amp; Waste Water Treatment of Nederland)<sup>5</sup></i> .....	5-48
<i>Tabla 5–25 Fechas de Estaciones de Monitoreo para el Periodo 2002-2003</i> .....	5-50
<i>Tabla 5–26 Caudales de Estaciones de Monitoreo para el Periodo 2002-2003</i> .....	5-50
<i>Tabla 5–27 Caudales de Estaciones de Monitoreo para el PRESENTE ESTUDIO</i> .....	5-51
<i>Tabla 5–28 Cargas diarias de contaminantes por tributarios evaluados, en kg/día</i> .....	5-57
<i>Tabla 5–29 Valores Utilizados en el Modelado del Tramo de Estudio<sup>1</sup></i> .....	5-67
<i>Tabla 5–30 Localización de las Secciones Transversales Utilizadas</i> .....	5-71
<i>Tabla 5–31 Perfil del Tramo de Estudio del Río Verde</i> .....	5-72
<i>Tabla 5–32 Ubicación y Composición de las Descargas I</i> .....	5-73
<i>Tabla 5–33 Ubicación y Composición de las Descargas II</i> .....	5-74
<i>Tabla 5–34 Características del Río Verde en Diferentes Puntos</i> .....	5-75

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 5–1 Ventanas de Aplicaciones de ArcView Gis 3.3</i> .....	5-4
<i>Figura 5–2 Localización de los Límites Administrativos y Centros de Población en la Zona de Estudio</i> .....	5-6
<i>Figura 5–3 Localización de los Límites Hidrológicos y Cuerpos de Agua en la Zona de Estudio</i> .....	5-7
<i>Figura 5–4 Ubicación de las Estaciones de Monitoreo para Evaluar la Calidad del Agua en la Zona de Estudio</i> .....	5-8
<i>Figura 5–5 Localización de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en la Zona de Estudio</i> .....	5-9
<i>Figura 5–6 Fotografía Aérea de la Localidad de Tepatitlán de Morelos, Jalisco</i> .....	5-12
<i>Figura 5–7 Ubicación de Dos Descargas que Representan el Criterio de Clasificación</i> .....	5-13
<i>Figura 5–8 Concentración de SST y DBO<sub>5</sub> en el río Verde</i> .....	5-26
<i>Figura 5–9 Comparación de Oxígeno disuelto 2002-2003 con el presente estudio</i> .....	5-52
<i>Figura 5–10 Comparación de Demanda Bioquímica de Oxígeno 2002-2003 con el presente estudio</i> .....	5-52

<i>Figura 5–11 Comparación de Demanda Química de Oxígeno 2002-2003 con el presente estudio.....</i>	<i>5-53</i>
<i>Figura 5–12 Comparación de Nitrógeno Amoniacal 2002-2003 con el presente estudio.....</i>	<i>5-54</i>
<i>Figura 5–13 Comparación de Sólidos Disueltos 2002-2003 con el presente estudio.....</i>	<i>5-54</i>
<i>Figura 5–14 Comparación de Sólidos Suspendedos Totales 2002-2003 con el presente estudio.....</i>	<i>5-55</i>
<i>Figura 5–15 Representación de una Corriente Superficial en el Modelo QUAL2K <sup>1</sup>.....</i>	<i>5-67</i>
<i>Figura 5–16 Flujo del Río Verde.....</i>	<i>5-75</i>
<i>Figura 5–17 Conductividad en el Río Verde.....</i>	<i>5-76</i>
<i>Figura 5–18 Oxígeno Disuelto en el Río Verde.....</i>	<i>5-77</i>
<i>Figura 5–19 Demanda Biológica de Oxígeno en el Río Verde.....</i>	<i>5-77</i>
<i>Figura 5–20 Nitrógeno Orgánico en el Río Verde.....</i>	<i>5-78</i>
<i>Figura 5–21 Nitratos en el Río Verde.....</i>	<i>5-78</i>
<i>Figura 5–22 Fósforo Orgánico en el Río Verde.....</i>	<i>5-79</i>
<i>Figura 5–23 Flujo en Simulación del Río Verde con Presas.....</i>	<i>5-80</i>
<i>Figura 5–24 Profundidad en Simulación del Río Verde con Presas.....</i>	<i>5-80</i>
<i>Figura 5–25 Conductividad en Simulación del Río Verde con Presas.....</i>	<i>5-81</i>
<i>Figura 5–26 Demanda Biológica de Oxígeno en Simulación del Río Verde con Presas.....</i>	<i>5-81</i>
<i>Figura 5–27 Nitrógeno en Simulación del Río Verde con Presas.....</i>	<i>5-82</i>
<i>Figura 5–28 Nitratos en Simulación del Río Verde con Presas.....</i>	<i>5-83</i>
<i>Figura 5–29 Fósforo Orgánico en Simulación del Río Verde con Presas.....</i>	<i>5-83</i>

# Análisis y Evaluación de la Información

---

## 5. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN

### 5.1 ANTECEDENTES

En la actualidad la corriente del río Verde en el Estado de Jalisco se encuentra considerada como cuerpo tipo B. La Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (LFDMA) establece para el río Verde la siguiente clasificación:

- Cuerpo tipo “B”: en los municipios de Teocaltiche, Villa Hidalgo, Jalostotitlán, Mexxicacán, Villa Obregón, Valle de Guadalupe, Yahualica, Cuquío, Tepatitlán de Morelos, Acatic, Zapotlanejo e Ixtlahuacán del Río.

Otros ríos clasificados como cuerpo tipo “B”, dentro de la zona de estudio, son:

- Río El Valle en el municipio del Valle de Guadalupe.
- Río El Jihuite en el municipio de Tepatitlán de Morelos.
- Río San Juan de los Lagos en el municipio de San Juan de los Lagos.

En cuanto a los cuerpos receptores clasificados como tipo “C”, se identifican los siguientes:

- Presa El Salto en el municipio de Valle de Guadalupe.
- Presa El Jihuite en el municipio de Tepatitlán de Morelos.
- Presa Alcalá en el municipio de San Juan de los Lagos.

La clasificación del río Verde corresponde a la intención de utilizar esta corriente para el futuro abastecimiento de la ciudad de Guadalajara<sup>1</sup> a través de alguna presa sobre este río y alguna estructura de derivación. Sin embargo los esquemas de aprovechamiento han evolucionado en los últimos años:

- a) Para la ciudad de Guadalajara, el abastecimiento se considera a través de la presa Arcediano situada cerca de la confluencia del río Verde con el Río Santiago.
- b) Para la ciudad de León, a través de la presa el Zapotillo situada cerca de Cañadas de Obregón. Esta presa también abastecerá a poblaciones de los Altos de Jalisco.

Estos esquemas de aprovechamiento más intensivos y que también consideran las aguas del río Santiago, junto con los requerimientos de agua para consumo humano, hacen necesarias condiciones más estrictas para el tratamiento de los efluentes. En este sentido se han llevado a cabo análisis técnicos para modificar la clasificación del río Verde<sup>2</sup>, haciéndola más estricta.

Los trabajos de calidad del agua en las corrientes superficiales se enfocaron a la caracterización del río Verde y de sus principales afluentes. El río Verde se monitoreó en seis sitios a lo largo de su recorrido. Los afluentes principales del Verde que fueron caracterizados se indican a continuación:

- Río Chico en Villa de Ornelas
- Río Agostadero en Halconero de Abajo
- Río Teocaltiche frente a Mendocina
- Río Lagos, en 5 sitios
- Río Jalostotitlán en Hacienda Vieja
- Río San Miguel, en puente de Santa María de la O
- Río Ipalco, en Ipalco de Enmedio
- Río Valle en Valle de Guadalupe
- Río Tepatitlán, en 2 sitios

Los ríos Chico y Agostadero forman una sola corriente afluyente del Verde, que mantiene el nombre de Agostadero. Los ríos Jalostotitlán y San Miguel se unen y forman el río La Laja que finalmente confluye con el río Verde.

Además, se efectuó la caracterización de varios arroyos que a su vez son tributarios de algunos de los afluentes del Verde antes mencionados. Dichos arroyos son:

- Arroyo San José, afluyente del río Lagos
- Río Jalpilla, afluyente del río Lagos
- Arroyo La Jara, afluyente del río Lagos
- Arroyo Barroso, afluyente del río Lagos
- Arroyo Saltillo, afluyente del río Tepatitlán
- Arroyo Las Víboras, afluyente del río Tepatitlán, en 2 sitios

En la evaluación de los resultados de calidad del agua de las descargas de agua residual caracterizadas se utiliza como marco de referencia el marco normativo en vigor. La norma NOM-001-SEMARNAT-1996<sup>3</sup> establece límites máximos permisibles (LMP) diferenciados en función del tipo y clasificación del cuerpo receptor de la descarga. Los LMP indican valores Promedio Mensual y Promedio Diario, siendo más estrictos los valores mensuales.

Para evaluar el cumplimiento de la NOM-001 en las descargas de agua residual caracterizadas, se compararán los resultados de laboratorio con respecto de los LMP Promedio Diario, en virtud de que los muestreos fueron de carácter instantáneo.

La evaluación de los resultados de calidad del agua y toxicidad de las descargas de agua residual se efectuará en principio para el grupo de parámetros que la NOM-001 identifica como “contaminantes básicos”, posteriormente se evaluarán los “metales pesados y cianuro”, finalizando con la evaluación de los resultados de las pruebas de toxicidad.

### 5.1.1 Desarrollo de Información en Sistema de Información Geográfica

La información evaluada y desarrollada en este proyecto se integra en un sistema de Información Geográfica en ArcView, el cual consiste en bases de datos y cartografía de la zona de estudio que se integra de acuerdo al siguiente esquema general.

Las bases de datos se presentan en formato Dbase (\*.dbf) por ser el formato más común para transferir información de bases de datos y que permite ser integrada de manera fácil en un GIS.

A continuación se listan en el orden que están integradas las capas de información (archivos shape y dbase), y sus tablas que las componen.

- 01 – Región Hidrológica
- 02 – Cuenca Hidrológica
- 03 – Subcuencas Hidrológicas
- 04 – Estado
- 05 – Municipios
- 06 – Vías de Comunicación
- 07 – Hidrografía
- 08 – Cuerpos de Agua
- 09 – Poblaciones
- 10 – Descargas Identificadas (directas, indirectas, caracterizadas)
- 11 – Descargas inventario de CONAGUA
- 12 – Descargas Agropecuarias
- 13 – PTAR's Municipales
- 14 – PTAR's Industriales
- 15 – Plantas Potabilizadoras
- 16 – Estaciones Hidrométricas
- 17 – Estaciones de Monitoreo
- 18 – Distritos de Riego
- 19 – Evaluación de toxicidad
- 20 – Fotos aéreas
- 21 – Fichas (descargas identificadas)
- 22 – Fichas (ríos caracterizados)

Estas carpetas y archivos deberán estar instalados en el directorio C:\CEAS – Descargas Rio Verde, ya que el programa (ArcView) al crear o abrir un proyecto tiene ligadas las bases de datos a este directorio.

De lo contrario se tendrá que volver a cargar el archivo o carpeta que no se encuentre en ese directorio y con ese nombre, lo cual puede generar duplicidad de información, desorden en las bases de datos y datos incorrectos en las consultas.

### *Descripción de la Aplicación de ArcView*

La herramienta de ArcView Gis 3.3 permite organizar, visualizar y analizar la información y permite desplegar la información en forma de tabla o mapa. Trabaja con imágenes, archivos de texto, tablas y gráficas. Además este software permite utilizar Avenue, un lenguaje de programación, para cambiar iconos y terminología utilizada en la aplicación, crear y personalizar la información de la aplicación para tener un acceso seguro a las bases de datos. Los códigos utilizados por Avenue se llaman “scripts” o códigos de programación.

ArcView es un sistema de información geográfico de escritorio. Permite crear mapas inteligentes y dinámicos usando datos de cualquier fuente virtual y a través de la mayoría de las plataformas computacionales populares. ArcView proporciona las herramientas para trabajar con los mapas, las tablas de la base de datos, las cartas, y los gráficos de una vez. También se pueden utilizar acoplamientos de multimedia para agregar cuadros, sonido, y vídeo a los mapas.

### *La Interfaz de ArcView*

Al abrir el programa aparece la ventana de aplicación que se organiza a su vez en varias ventanas y apartados:

- El menú principal, subdividido en varios menús que contienen las funciones del programa.
- La barra de botones, que permiten el acceso directo a alguna de las opciones recogidas en los diferentes menús.
- La barra de herramientas, básicamente destinadas al desplazamiento y a la edición de las vistas.
- La ventana del proyecto, la que recoge todos los componentes del proyecto.

**Figura 5–1 Ventanas de Aplicaciones de ArcView Gis 3.3**



El documento principal de las aplicaciones de ArcView es el proyecto, un archivo en el que se almacena todo el trabajo que se realiza con el SIG, recogiendo las características y finalidades genéricas propias de un SIG. El proyecto puede estar compuesto por varios tipos de documentos (imágenes, mapas, tablas, gráficos, etc.) para los cuales existen diferentes “interfaces de usuario”:

- Vistas: área de trabajo con información cartográfica (ríos, lagos, cuencas, municipios, etc.)
- Temas: dentro de una vista pueden existir distintas “capas” de información geográfica (ríos, lagos, curvas de nivel, parcelas, caminos, etc.). Cada tema es una “capa” de información.
- Tablas: área que permite la gestión de los atributos temáticos asociados a los temas (cartografía) o aquellas tablas externas que se añaden al proyecto.
- Gráficos: área de trabajo con gráficos realizados a partir de los atributos contenidos en las tablas de datos.
- Layouts: área para el armado de composiciones de mapa (salidas gráficas de las vistas)
- Scripts: área de creación de macros y de programación en lenguaje Avenue, propio de Arc View

### **ArcView posee una Interface Diferente para Cada Tipo de Documento**

El archivo de proyectos se guarda con la extensión “.apr”. Este archivo no contiene los datos espaciales y atributos asociados en forma de tablas sino que almacena referencias al lugar donde se conservan las fuentes de los datos, la ruta que hay que seguir en el disco para llegar a los archivos. Así pueden emplearse los mismos datos en varios proyectos. Si los datos cambian las actualizaciones se reflejarán en todos los proyectos donde sean utilizados. Al abrir un proyecto en ArcView se despliega la Ventana del proyecto que da acceso a todos los componentes del mismo.

### ***Descripción del Contenido de Información en las Bases de Datos y Cartografía***

#### **Límites Administrativos y Centros de Población**

En este conjunto de bases de datos se incorporan 3 tablas, con la siguiente información: Estados, Municipios y Localidades. Esta capa de información permite orientar al usuario para la localización y delimitación de la zona de estudio. Las tablas de información que se incluyen en estas bases comprenden:

Estado

- Clave y nombre del estado

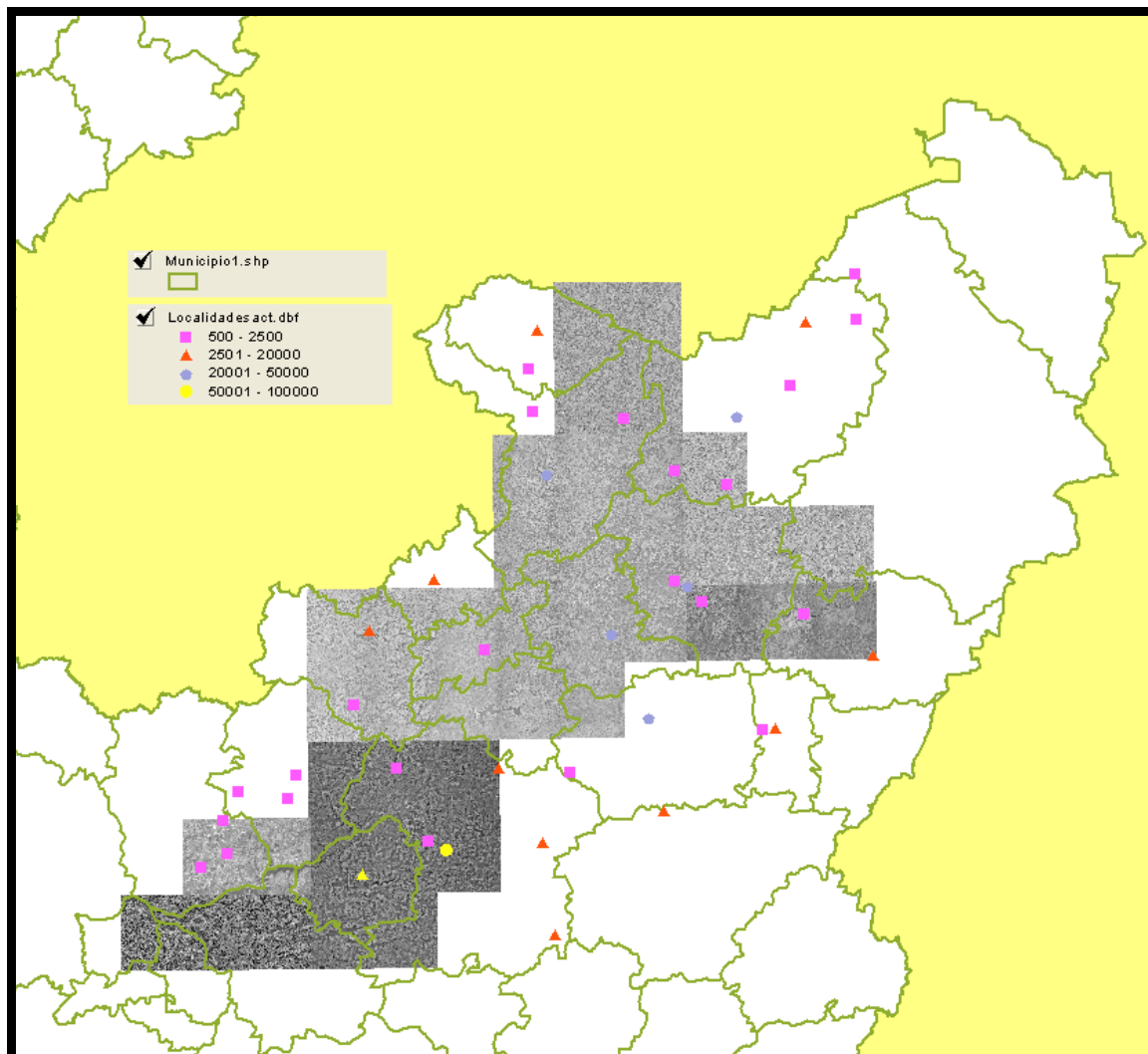
Municipios

- Clave, nombre del municipio y superficie

Localidades

- Municipio y localidad
- Población total
- Coordenadas de ubicación

Figura 5-2 Localización de los Límites Administrativos y Centros de Población en la Zona de Estudio



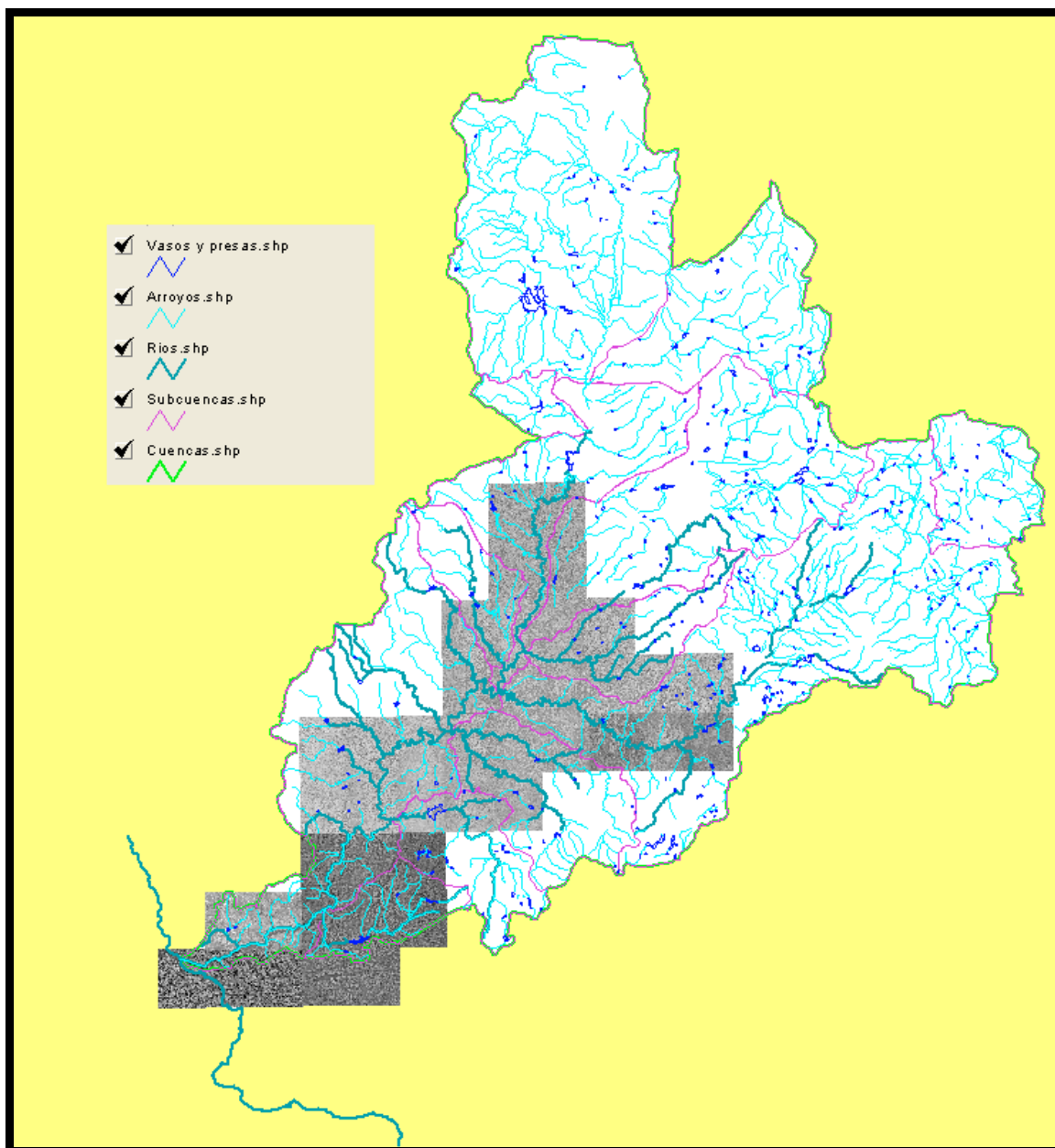
### Límites Hidrológicos

En este conjunto de bases de datos se incorporan 5 tablas las cuales cuentan con la siguiente información relativa a la Cuenca y Subcuencas Hidrológicas, Hidrografía de la zona de estudio (ríos y arroyos) y Vasos y presas, y se presenta la siguiente información:

- Nombre y clave de la región hidrológica
- Nombre y clave de la cuenca hidrológica
- Nombre y clave de las subcuencas hidrológicas
- Tipo de cuerpo de agua o río

- Nombre de cuerpo de agua o río
- Tipo de cuerpo receptor
- Nombre de cuerpo de agua (vaso y/o presa)

Figura 5–3 Localización de los Límites Hidrológicos y Cuerpos de Agua en la Zona de Estudio



### Vías de Comunicación

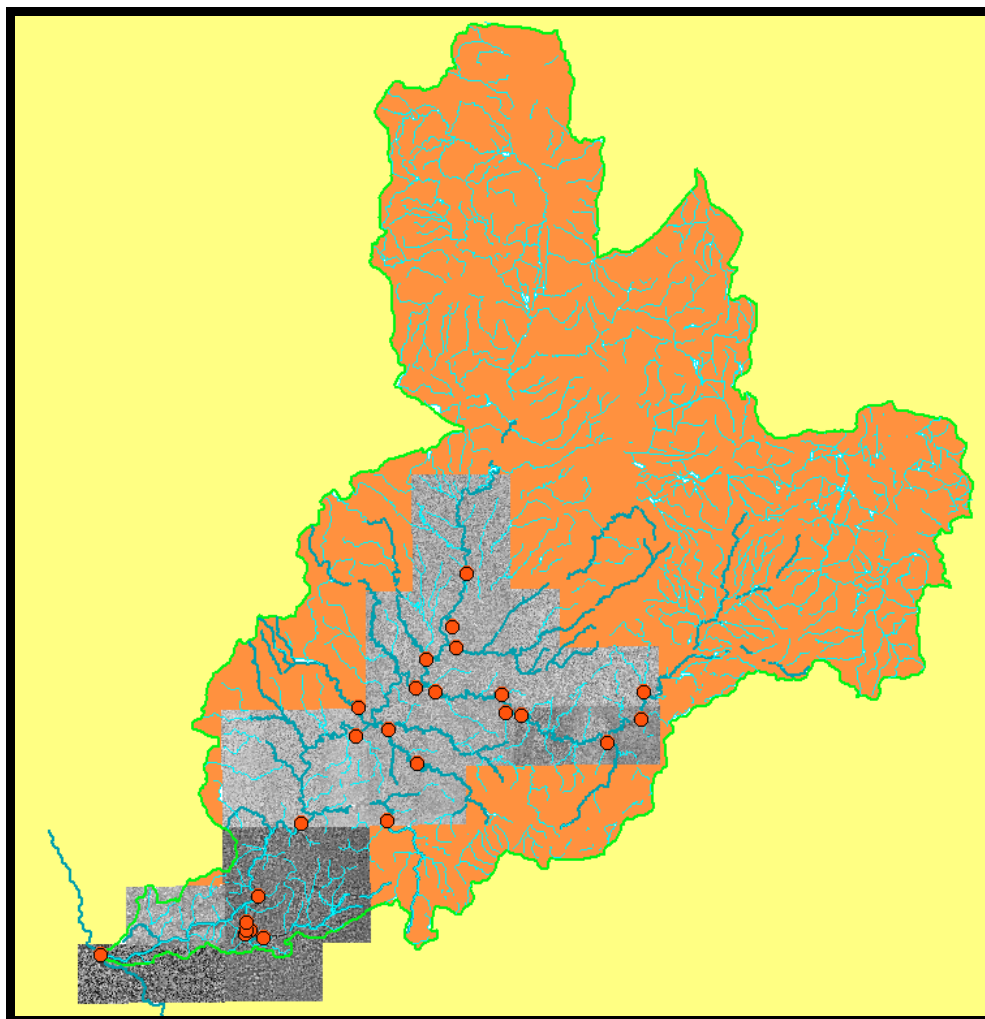
Esta capa de información permite orientar al usuario para la localización de descargas, plantas de tratamiento, descargas industriales y pecuarias. Esta capa se generó en base a un trazó en autocad de la cartografía de INEGI y se generó en el sistema de Arc View como un archivo .dxf.

### Estaciones de Monitoreo

Esta capa de información permite orientar al usuario para la localización de estaciones de monitoreo de calidad de agua cuya base se obtuvo de los puntos de muestreo seleccionados. La tabla de información que se incluye en esta capa comprende:

- Nombre de estación
- Fecha de muestreo
- Conductividad
- Oxígeno disuelto
- SST, DBO5, N amoniacal
- Localización (Longitud, Latitud)

**Figura 5-4 Ubicación de las Estaciones de Monitoreo para Evaluar la Calidad del Agua en la Zona de Estudio**

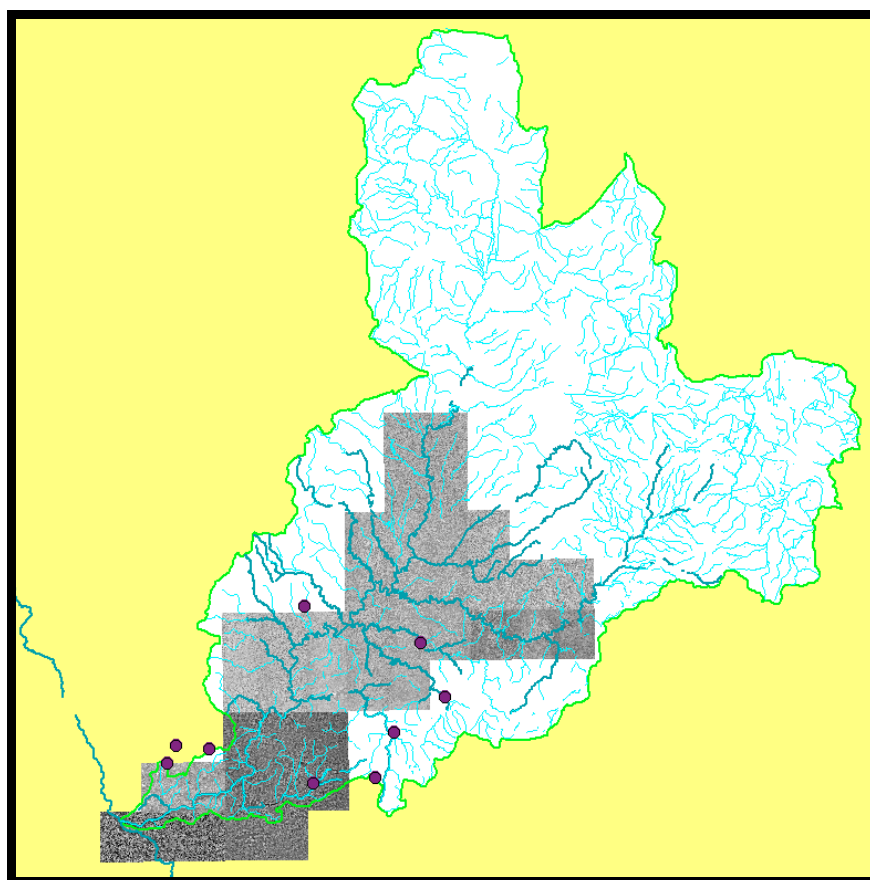


### Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipal

Esta capa de información incorpora las plantas de tratamiento de aguas residuales municipal de la zona de estudio. La información contenida en las tablas de la base de datos que incluye los siguientes campos de información:

- Municipio
- Localidad
- Nombre planta
- Proceso
- Gasto instalado
- Gasto tratado
- Cuerpo receptor
- Observaciones
- Localización (Longitud, Latitud)
- Foto

**Figura 5-5 Localización de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en la Zona de Estudio**



### **Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales**

Esta capa de información incorpora las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales de la zona de estudio. La información contenida en las tablas de la base de datos del inventario de CNA que incluye los siguientes campos de información:

- Estado
- Municipio
- Localidad
- Tipo de industria
- Tratamiento
- Gasto instalado
- Cuerpo receptor
- Localización (Longitud, Latitud)

### **Descargas Municipales, Industriales y Agropecuarias**

Esta capa de información contiene tres bases de datos, tiene la finalidad de indicar la ubicación, nombre y generación de contaminantes de las descargas municipales, industriales y agropecuarias. Las tablas de información contienen los siguientes campos:

- Nombre de la descarga
- Fecha de muestreo
- Conductividad
- pH
- Grasas y Aceites
- Nitrógeno Total
- Fósforo Total
- Sólidos Suspendidos Totales
- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Localización (Longitud, Latitud)

### **Descargas Puntuales Identificadas**

Esta capa de información contiene dos bases de datos, Descargas Directas y Descargas Indirectas, tiene la finalidad de indicar la ubicación, nombre y generación de contaminantes de las descargas municipales, industriales y agropecuarias. Las tablas de información contienen los siguientes campos:

- Clave
- Nombre de la descarga

- Fecha
- Origen
- Municipio
- Localización (Longitud, Latitud)
- Cuerpo Receptor
- Confinamiento y/o tratamiento
- Ficha con datos representativos y fotografía

### Información obtenida de la CONAGUA

En este apartado se recopiló y se generó información del área de estudio. Esta con la finalidad de aportar datos de interés o complementarios para este estudio. La información contiene lo siguiente:

- Plantas Potabilizadoras
- Distritos de Riego
- Estaciones Hidrométricas
- Estaciones de Monitoreo
- Inventario de descargas

### Fotos Aéreas

El proyecto que se generó en ArcView GIS 3.3, se incluyeron 46 fotos aéreas a una escala de 1:20,000, con un procesamiento de rectificación de fotografías aéreas, con auxilio de puntos de control geodésico y modelo digital de elevación, proyectadas a Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum ITRF92, Elipsoide GRS 80 y Zona UTM 13 y 14. Estas fotos fueron obtenidas de la base de datos geográficos, ortofotos digitales del INEGI, tomadas en los años de 1993, 1996, 1999, 2000, 2003 y 2004.

Posteriormente y para su mejor visualización y seguir actualizando el sistema, se convirtieron las fotografías de coordenadas UTM a geográficas.

A continuación se presenta la **Tabla 5–1**, donde se hace referencia a cada una de ellas.

**Tabla 5–1 Relación de Ortofotos Digitales Utilizadas para el Proyecto de ArcView**

Estado	Clave	Nombre	Ortofotos	Fechas de vuelo
Jalisco	F13D28	Villa Hidalgo	A, B, C, D, E, F	BCEF (NOV – 1999)
Jalisco	F13D38	Teocaltiche	A, B, C, D, E, F	BCEF (NOV – 1999), AD (ABR – 2000)
Jalisco	F13D39	Santa Bárbara	A, B, C, D, E, F	EF (MAR – 1996), AD (JUN – 1999)
Jalisco	F13D47	Yahualica de González Gallo	A, B, C, D, E, F	ABDE (ENE – 2000), CF (ABR – 2000)
Jalisco	F13D48	Jalostotitlán	A, B, C, D, E, F	BCEF (NOV – 1999), AD (ABR – 2000)

Jalisco	F13D49	San Juan de los Lagos	A, B, C, D, E, F	BC (MAR – 1996), A (JUN – 1999)
Jalisco	F13D56	Cuquío	A, B, C, D, E, F	D, F (01/10/2004)
Jalisco	F13D57	Tepatitlán	A, B, C, D, E, F	A, B, C, D, E, F (01/04/1999)
Jalisco	F13D67	Tototlán	A, B, C, D, E, F	A, B (01/04/1999)
Jalisco	F14C31	Lagos de Moreno	A, B, C, D, E, F	A, B, C, D, E (01/05/2003)

**Figura 5–6 Fotografía Aérea de la Localidad de Tepatitlán de Morelos, Jalisco**



### 5.1.2 Levantamiento con Sistema de Posicionamiento Global de las Descargas Puntuales de Agua Residual en la Cuenca Directa

Los recorridos de campo para identificar descargas de agua residual se efectuaron a lo largo del río Verde, en el tramo comprendido entre la localidad de Chilarillo, dentro del municipio Villa Hidalgo y la unión con el río Santiago. Este tramo del río Verde tiene una longitud de aproximadamente 195 kilómetros, en los que el río corre entre los municipios de: Zapotlanejo, Acatic, Ixtlahuacán del Río, Cuquío, Tepatitlán de Morelos, Yahualica de González Gallo, Cañadas de Obregón, Villa de Guadalupe, Mexxicacan, San Miguel el Alto, Teocaltiche, Jalostotitlán, San Julián, Unión de San Antonio, San Juan de los Lagos, Lagos de Moreno, Villa Hidalgo, Encarnación de Díaz, San Diego de Alejandría y Ojuelos de Jalisco.

Las descargas identificadas fueron un total de 161, clasificadas de la siguiente forma:

- Descargas directas al río Verde y sus principales afluentes (DD), 59
- Descargas indirectas a las corrientes tributarias del río Verde y sus principales afluentes (DI), 102

Las descargas identificadas como DD son vertidos puntuales de agua residual cruda o tratada, cuyo origen puede ser industrial, municipal o pecuario que se identificaron en el exterior de la fuente que genera el vertido de agua residual. El cuerpo receptor de dichos vertidos es el río Verde y sus afluentes principales.

En la **Figura 5-7** se presenta de manera esquemática el criterio con que se clasificaron las descargas identificadas.

**Figura 5-7 Ubicación de Dos Descargas que Representan el Criterio de Clasificación**



En las siguientes tablas se presenta un resumen con la relación de las descargas que se identificaron, agrupadas en los dos rubros previamente descritos.

Tabla 5-2 Relación de las Descargas Directas en la Zona de Estudio

Clave	Nombre	Origen	X	Y	Cuerpo Receptor	Confinamiento y/o Tratamiento
DD-1	Porcícola	Pecuaria	714,065	2,299,726	Río Tepatitlán	
DD-2	Porcícola GENA El Jagüey	Pecuaria	709,750	2,297,359	Pastizal (lavado de lluvias río Verde)	Lagunas
DD-3	Porcícola GENA El Chaparral	Pecuaria	703,111	2,298,162	Río Verde M. I.	Biodigestor
DD-4	Porcícola Santa Rita	Pecuaria	706,560	2,297,864	Río Verde M. I.	
DD-5	Procesadora de Pollo Gigantes Bajío	Pecuaria	715,112	2,298,113	Río Tepatitlán	
DD-6	Granja avícola AVICAR	Pecuaria	728,936	2,299,050	Río Tepatitlán	
DD-7	Porcícola	Pecuaria	728,535	2,299,385	Río Tepatitlán	Biodigestor
DD-8	Porcícola	Pecuaria	728,133	2,300,059	Afluente río Tepatitlán M. I.	Biodigestor
DD-9	Porcícola	Pecuaria	727,819	2,300,218	Afluente río Tepatitlán M. I.	
DD-10	Porcícola	Pecuaria	727,459	2,300,602	Pastizal (lavado de lluvias afluente río Tepatitlán M. D.)	
DD-11	Porcícola	Pecuaria	725,693	2,300,403	Río Tepatitlán	
DD-12	Avícola AVI-G	Pecuaria	731,070	2,310,598	Presa Carretas, dando origen aguas abajo al río Tepatitlán	
DD-13	Porcícola #3 GENA	Pecuaria	720,679	2,299,031	Probablemente Presa Lagunillas	Laguna
DD-14	Procesadora de Pollo Gigantes Carricillo	Pecuaria	720,547	2,299,036	Presa Lagunillas	
DD-15	Porcícola #2 GENA	Pecuaria	721,026	2,298,000	Probablemente Presa Lagunillas	Laguna
DD-16	Porcícola #1 GENA	Pecuaria	720,725	2,297,590	Probablemente Presa Lagunillas	Laguna
DD-17	Porcícola Rancho Alegre	Pecuaria	729,974	2,307,623	Pastizal (escurrimiento río Tepatitlán M. D.)	Laguna
DD-18	Porcícola Paso de Carretas	Pecuaria	730,330	2,307,582	Escurrimiento río Tepatitlán M. D.	Laguna
DD-19	Porcícola Granja Lagunitas	Pecuaria	729,990	2,306,411	Pastizal (lavado de lluvias río Tepatitlán M. D.)	Fosa
DD-20	PTARM Tepatitlán de Morelos	Municipal	730,217	2,300,177	Río Tepatitlán M. D.	PTAR
DD-21	Granja avícola	Pecuaria	732,423	2,301,557	Río Tepatitlán	
DD-22	Granja avícola	Pecuaria	731,955	2,305,689	Río Tepatitlán	

**Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información**

<b>Clave</b>	<b>Nombre</b>	<b>Origen</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Cuerpo Receptor</b>	<b>Confinamiento y/o Tratamiento</b>
DD-23	Granja Los Viveros (Avícola)	Pecuaria	731,663	2,305,743	Río Tepatitlán	
DD-24	Granja avícola	Pecuaria	731,634	2,305,519	Río Tepatitlán	
DD-25	Parque Industrial Los Altos (Industria AVIBEL)	Industrial	730,307	2,299,430	Afluente al río Tepatitlán	
DD-26	Porcícola en El Tepame	Pecuaria	728,518	2,297,707	Río Tepatitlán M. I. (si se desborda la laguna)	Lagunas
DD-27	Porcícola en El Tepame	Pecuaria	728,240	2,297,729	Pastizal (lavado de lluvias río Tepatitlán M. I.)	
DD-28	Porcícola Ciudad del huevo	Pecuaria	724,439	2,297,848	Presa Lagunillas por escurrimiento	Biodigestor
DD-29	Porcícola Ciudad del huevo	Pecuaria	724,209	2,297,972	Presa Lagunillas por escurrimiento	Biodigestor
DD-30	Porcícola	Pecuaria	754,757	2,345,761	Río Jalostotitlán	Lagunas
DD-31	Granja avícola (Los Patos)	Pecuaria	754,352	2,346,244	Río Jalostotitlán	
DD-32	Granja avícola (Los Patos)	Pecuaria	754,299	2,345,574	Río Jalostotitlán	
DD-33	Ganado vacuno	Pecuaria	749,780	2,343,908	Río San Miguel	
DD-34	Ganado vacuno	Pecuaria	749,000	2,344,066	Río San Miguel	
DD-35	Ganado vacuno en El Tepozán	Pecuaria	751,078	2,344,053	Río San Miguel	
DD-36	Granja porcícola y avícola El Pato	Pecuaria	753,171	2,347,030	Río Jalostotitlán	Sedimentador
DD-37	Granja avícola (Pato #3)	Pecuaria	752,965	2,346,013	Río Jalostotitlán	
DD-38	Porcícola	Pecuaria	752,791	2,345,584	Afluente río Jalostotitlán	Laguna
DD-39	Porcícola Corrales	Pecuaria	753,573	2,339,277	Río San Miguel	Pastizal
DD-40	PTARM Jalostotitlán	Municipal	762,519	2,343,841	Río Jalostotitlán M. D.	PTAR
DD-41	Granja porcícola Los Planes	Pecuaria	758,563	2,337,571	Río San Miguel M. D.	Laguna
DD-42	Porcícola en Loma del Mulato	Pecuaria	762,115	2,347,313	Pastizal (lavado de lluvias río Jalostotitlán M. D.)	Lagunas
DD-43	Granja vacuna en la localidad La Asunción (Coca)	Pecuaria	759,274	2,347,319	Río Jalostotitlán M. D.	
DD-44	Porcícola	Pecuaria	762,849	2,347,139	Río Jalostotitlán M. D. (si se desborda la laguna)	Lagunas
DD-45	Porcícola	Pecuaria	762,933	2,348,218	Río Jalostotitlán (si se desborda la laguna)	Lagunas
DD-46	Porcícola en El Mayoral	Pecuaria	764,962	2,347,544	Afluente río Jalostotitlán M. D.	Brecha

**Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información**

<b>Clave</b>	<b>Nombre</b>	<b>Origen</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Cuerpo Receptor</b>	<b>Confinamiento y/o Tratamiento</b>
DD-47	Porcícola en El Mayoral	Pecuaria	764,726	2,347,307	Afluente río Jalostotitlán M. D.	Brecha
DD-48	Porcícola en El Mayoral	Pecuaria	764,165	2,347,171	Afluente río Jalostotitlán M. D.	Brecha
DD-49	PTARM San Miguel El Alto	Municipal	769,118	2,329,143	Río San Miguel M. D.	PTAR
DD-50	Localidad de Lagunillas	Municipal	696,754	2,298,817	Río Verde M. D.	
DD-51	Rastro municipal Yahualica	Municipal	719,989	2,342,216	Arroyo Yahualica	
DD-52	Porcícola La Nopalera	Pecuaria	713,792	2,299,431	Río Tepatitlán M. D. (ocasional cuando riegan)	Lagunas
DD-53	Porcícola GENA El Jagüey	Pecuaria	709,730	2,298,433	Pastizal (lavado de lluvias río Verde)	Lagunas
DD-54	Porcícola	Pecuaria	719,302	2,297,084	Brecha (lavado de lluvias al río Tepatitlán)	Biodigestor
DD-55	Desc. municipal secundaria de Acatic	Municipal	716,357	2,298,688	Afluente Río Tepatitlán M. D.	
DD-56	Desc. municipal principal de Acatic	Municipal	716,768	2,298,458	Río Tepatitlán M. D.	
DD-57	Granjas avícolas Zorrillos, en Paso de Cuarenta	Pecuaria	212,013	2,380,399	Río Cuarenta M. D.	
DD-58	Granja avícola y porcícola	Pecuaria	204,394	2,373,841	Río Cuarenta M. D.	Biodigestor
DD-59	Granja porcícola Sanfandila	Pecuaria	203,331	2,373,397	Río Cuarenta M. I.	Biodigestor

Tabla 5-3 Relación de las Descargas Indirectas en la Zona de Estudio

Clave	Nombre	Origen	X	Y	Cuerpo Receptor	Confinamiento y/o Tratamiento
DI-1	Relleno sanitario de Acatic en Las Paredes	Municipal	719,231	2,302,396	Arroyo Colorado afluente río Tepatitlán	
DI-2	Porcícola GENA El Carricillo	Pecuaria	712,521	2,298,505	Arroyo Las Víboras aguas arriba del río Tepatitlán	Biodigestor
DI-3	Porcícola GENA La Estancia #4	Pecuaria	712,050	2,297,852	Arroyo La Estancia afluente al río Verde M. I.	Lagunas
DI-4	Porcícola GENA La Estancia #4 ampliación	Pecuaria	711,577	2,297,891	Arroyo La Estancia afluente al río Verde M. I.	Biodigestor
DI-5	Procesadora de Pollo Gigantes La Puerta	Pecuaria	715,934	2,297,254	Arroyo Las Víboras afluente al río Tepatitlán	
DI-6	Porcícola en Tlalcoyote	Pecuaria	712,222	2,296,283	Arroyo La Troja afluente al arroyo Las Víboras	Biodigestor
DI-7	Porcícola	Pecuaria	711,265	2,296,690	Arroyo La Estancia afluente al río Verde M. I.	
DI-8	Porcícola	Pecuaria	720,941	2,301,655	Afluente a Presa El Capadero	Laguna
DI-9	Granja avícola	Pecuaria	719,928	2,300,796	Presa El Carricillo	
DI-10	Descarga principal de Mezcala	Municipal	723,714	2,318,597	Arroyo Mezcala afluente al río Verde M. I.	
DI-11	Relleno sanitario en San Bartolo	Municipal	728,890	2,319,408	Arroyo Las Palomas afluente al río Verde M. I. (si ocurriera derrame de lixiviados)	
DI-12	Porcícola	Pecuaria	728,966	2,312,281	Presa Las Azules	
DI-13	Porcícola	Pecuaria	730,495	2,311,702	Bordos los Alderete afluente a Presa Carretas	
DI-14	Porcícola La Plaza	Pecuaria	730,542	2,312,319	Bordos los Alderete afluente a Presa Carretas	
DI-15	Avícola Las Azules	Pecuaria	729,405	2,312,460	Presa Las Azules	
DI-16	Porcícola	Pecuaria	729,710	2,311,735	Arroyo El Agua Blanca, aguas abajo nombrado arroyo San Pablo	
DI-17	Porcícola y avícola	Pecuaria	728,808	2,311,234	Arroyo El Agua Blanca, aguas abajo nombrado arroyo San Pablo	
DI-18	Porcícola Rancho El Centro	Pecuaria	727,643	2,308,553	Pastizal (lavado de lluvias afluente arroyo El Centro, San Pablo y río Tepatitlán)	Lagunas
DI-19	Rancho Agua Blanca (Vacuno)	Pecuaria	728,789	2,309,408	Arroyo El Agua Blanca, aguas abajo nombrado arroyo San Pablo	
DI-20	Avícola	Pecuaria	729,554	2,309,264	Arroyo El Agua Blanca, aguas abajo nombrado arroyo San Pablo	

**Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información**

<b>Clave</b>	<b>Nombre</b>	<b>Origen</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Cuerpo Receptor</b>	<b>Confinamiento y/o Tratamiento</b>
DI-21	Porcícola	Pecuaria	730,711	2,309,499	Presa Carretas	
DI-22	Porcícola GENA El Carricillo	Pecuaria	719,334	2,297,864	Probablemente Presa El Carricillo	Lagunas
DI-23	Granja avícola	Pecuaria	729,970	2,305,247	Arroyo innominado afluente río Tepatitlán M. D.	
DI-24	Porcícola y avícola	Pecuaria	730,387	2,305,695	Arroyo innominado afluente río Tepatitlán M. D.	
DI-25	Porcícola y avícola	Pecuaria	728,937	2,303,030	Pastizal (lavado de lluvias arroyo San Pablo afluente río Tepatitlán M. D.)	
DI-26	Granja La Hacienda (Avícola)	Pecuaria	729,333	2,302,762	Arroyo San Pablo afluente río Tepatitlán	
DI-27	Granja avícola	Pecuaria	729,046	2,302,521	Arroyo San Pablo afluente río Tepatitlán	
DI-28	Granja avícola	Pecuaria	729,309	2,302,440	Arroyo San Pablo afluente río Tepatitlán	
DI-29	Coca-Cola en Tepatitlán	Industrial	731,520	2,300,197	Arroyo Los Palos afluente al Río Tepatitlán	
DI-30	Envases y Plásticos TITÁN	Industrial	731,347	2,299,527	Arroyo Los Palos afluente al Río Tepatitlán	
DI-31	PTAR Rastro y Penitenciaria Tepatitlán	Municipal	736,277	2,300,225	Arroyo Los Palos afluente al Río Tepatitlán	PTAR
DI-32	Tequila Cristeros (Pozo visita de vinazas)	Industrial	735,698	2,302,141	Sistema de alcantarillado de Tepatitlán	
DI-33	Porcícola	Pecuaria	728,551	2,297,654	Arroyo innominado afluente río Tepatitlán	Laguna
DI-34	Porcícola Grupo Gigantes Tega	Pecuaria	728,287	2,295,586	Posiblemente Presa La Red, aguas abajo es río Calderon	Pastizal
DI-35	Granja avícola	Pecuaria	728,463	2,295,258	Posiblemente Presa La Red, aguas abajo es río Calderon	
DI-36	Laguna estiércol	Pecuaria	754,491	2,344,748	Arroyo Los Lobos afluente río Jalostotitlán	Pastizal
DI-37	Ganado vacuno (La Presa)	Pecuaria	750,336	2,345,148	Arroyo innominado afluente río Jalostotitlán	
DI-38	Ganado vacuno	Pecuaria	748,900	2,345,883	Arroyo El Burro afluente río San Miguel	
DI-39	Granja avícola	Pecuaria	753,639	2,340,803	Arroyo Las Capillas afluente río San Miguel	
DI-40	Relleno Sanitario Jalostotitlán	Municipal	764,293	2,339,442	Arroyo innominado afluente Presa Jalostotitlán	
DI-41	Localidad de Santa Ana de Guadalupe	Municipal	768,235	2,336,443	Río Santa Ana afluente a presa Jalostotitlán	

## Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información

Clave	Nombre	Origen	X	Y	Cuerpo Receptor	Confinamiento y/o Tratamiento
DI-42	Porcícola	Pecuaria	762,782	2,351,713	Arroyo Grande afluente río Lagos M. I.	Lagunas
DI-43	Granja San Pablo (Gallinas y borregos)	Pecuaria	764,193	2,351,664	Arroyo Grande afluente río Lagos M. I.	
DI-44	Ganado bovino El Herradero	Pecuaria	765,008	2,346,957	Arroyo El Huachilisco afluente al río Jalostotitlán M. D.	
DI-45	Ganado bovino	Pecuaria	765,242	2,347,103	Arroyo El Huachilisco afluente al río Jalostotitlán M. D.	Brecha
DI-46	Porcícola en El Mayoral	Pecuaria	765,424	2,346,831	Arroyo El Huachilisco afluente al río Jalostotitlán M. D.	Brecha
DI-47	Tequilera Hacienda La Capilla	Industrial	749,166	2,305,417	Arroyo El Sabino afluente al arroyo Calderón	
DI-48	Porcícola La Paleta	Pecuaria	748,503	2,305,487	Arroyo El Sabino afluente al arroyo Calderón	Biodigestor
DI-49	PTARM Capilla de Guadalupe	Municipal	751,549	2,305,671	Arroyo La Presa afluente al arroyo El Valle	PTAR abandonada
DI-50	Tequilera 30x30	Industrial	751,499	2,305,771	Arroyo La Presa afluente al arroyo El Valle	
DI-51	Relleno sanitario Cuquío	Municipal	701,381	2,319,102	Arroyo Cuacuala	
DI-52	Descarga localidad de Manalisco	Municipal	716,605	2,329,785	Arroyo Manalisco afluente al arroyo Atenguillo	
DI-53	Relleno sanitario de Yahualica	Municipal	716,501	2,340,050	Arroyo Los Cedazos afluente al arroyo Colorado (posible escurrimiento de lixiviados)	
DI-54	Porcícola #1 en La Cofradía	Pecuaria	714,921	2,299,222	Arroyo Saltillo afluente al río Tepatitlán M. D.	
DI-55	Porcícola #2 en La Cofradía	Pecuaria	714,943	2,299,107	Arroyo Saltillo afluente al río Tepatitlán M. D.	
DI-57	Porcícola El Tempisque	Pecuaria	706,769	2,298,232	Arroyo El Tempisque afluente río Verde M. I.	Biodigestor
DI-58	Porcícola GENA - Posta El Cuatro	Pecuaria	717,328	2,295,978	Arroyo Las Víboras afluente río Tepatitlán	Lagunas
DI-59	Termo Leche Sello Rojo	Industrial	740,126	2,314,756	Arroyo El Colchón afluente arroyo El Guayabo	
DI-60	Porcícola Potrero Blanco	Pecuaria	771,510	2,344,935	Arroyo El Muerto afluente arroyo Grande	Lagunas
DI-61	Granja avícola La Jara	Pecuaria	774,355	2,344,369	Arroyo La Labor afluente Presa Jalostotitlán	
DI-62	Relleno sanitario San Juan de Los Lagos	Municipal	776,477	2,347,629	Arroyo Charco Verde afluente río Lagos M. I.	
DI-63	Porcícola y vacuna	Pecuaria	776,821	2,347,679	Arroyo Charco Verde afluente río Lagos M. I.	Laguna

## Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información

Clave	Nombre	Origen	X	Y	Cuerpo Receptor	Confinamiento y/o Tratamiento
DI-64	Porcícola y avícola	Pecuaria	768,463	2,349,372	Arroyo El Muerto afluente arroyo Grande	Lagunas
DI-65	Granja Vallarta (Porcícola y avícola)	Pecuaria	761,174	2,351,384	Arroyo Grande afluente río Lagos M. I.	
DI-66	Granja El Capiro (Porcícola y avícola)	Pecuaria	761,846	2,353,164	Arroyo Grande afluente río Lagos M. I.	
DI-67	Granja avícola	Pecuaria	771,855	2,355,792	Arroyo El Mezquite afluente río Lagos M. D.	
DI-68	Granja porcícola #1, La Jara Santa Rosa	Pecuaria	774,303	2,359,683	Arroyo Barroso afluente al río San Juan de los Lagos M. D.	Biodigestor
DI-69	Granja porcícola #3, La Jara Santa Rosa	Pecuaria	773,919	2,359,074	Arroyo Barroso afluente al río San Juan de los Lagos M. D.	Laguna
DI-70	Granja porcícola #2, La Jara Santa Rosa	Pecuaria	773,929	2,359,464	Arroyo Barroso afluente al río San Juan de los Lagos M. D.	Laguna
DI-71	Granja avícola	Pecuaria	776,991	2,371,396	Presa El Rumaniente afluente río Agostadero M. D.	
DI-72	Granja y establo Santo Domingo	Pecuaria	781,784	2,378,405	Arroyo innominado afluente río Chico M. I.	Laguna
DI-73	Granja San Aparicio (Porcícola)	Pecuaria	784,242	2,362,136	Arroyo Los Trujillos afluente río El Agostadero	
DI-74	Granja Los Cuartos (Porcícola)	Pecuaria	785,221	2,365,614	Presa innominada afluente arroyo Los Trujillos	
DI-75	Granja Los Cuartos (Avícola)	Pecuaria	784,806	2,365,099	Arroyo Aparicio afluente Presa Los Laureles	
DI-76	Granja El Moro (Porcícola)	Pecuaria	785,249	2,363,425	Arroyo Aparicio afluente Presa Los Laureles	Lagunas y riego
DI-77	Granja Las Trojes (Avícola, lechones, borregos)	Pecuaria	785,483	2,369,393	Arroyo San Antonio aguas abajo nombrado arroyo La Labor	
DI-78	Granja avícola	Pecuaria	783,576	2,367,246	Arroyo San Antonio aguas abajo nombrado arroyo La Labor	
DI-79	Agropecuaria Nuevo Siglo (Porcícola)	Pecuaria	782,418	2,365,907	Arroyo innominado afluente arroyo Los Trujillos	
DI-81	Granja Paso de Trujillo (Porcícola y avícola)	Pecuaria	782,112	2,359,502	Arroyo Los Trujillos afluente río El Agostadero	Lagunas
DI-82	Granja porcícola No.1 en San José del Potrero	Pecuaria	807,405	2,359,831	Arroyo San José afluente al río Lagos M. D.	
DI-83	Granja porcícola No.2 en San José del Potrero	Pecuaria	807,405	2,359,831	Arroyo San José afluente al río Lagos M. D.	
DI-84	PTAR Parque Industrial Lagos de Moreno	Industrial	191,897	2,364,755	Bordo nuevo afluente a presa San Isidro y río Lagos M. D.	PTAR abandonada

**Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información**

<b>Clave</b>	<b>Nombre</b>	<b>Origen</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Cuerpo Receptor</b>	<b>Confinamiento y/o Tratamiento</b>
DI-85	Nestlé en Parque Industrial Lagos de Moreno	Industrial	191,895	2,364,788	Bordo nuevo afluente a presa San Isidro y río Lagos M. D.	
DI-86	Granja Torrecillas (Porcícola)	Pecuaria	192,562	2,367,364	La Laguna de Lagos de Moreno	
DI-87	Porcícola	Pecuaria	204,617	2,368,635	Presa Tlacualeche y uso en riego agrícola	
DI-88	Granja Palomas (Avícola)	Pecuaria	204,480	2,368,585	Presa San Isidro y uso en riego agrícola	
DI-89	Granja ganado vacuno	Pecuaria	204,093	2,369,057	Presa Tlacualeche y uso en riego agrícola	
DI-90	Granja porcícola Sanfandila en San Luis Gonzaga	Pecuaria	204,393	2,369,612	Presa Tlacualeche y uso en riego agrícola	
DI-91	Descarga de la localidad El Ojuelo	Municipal	205,761	2,369,863	Arroyo La Palma y posteriormente Presa Tlacualeche	
DI-92	Industria L. de M.	Industrial	200,033	2,363,655	Río Guaricho afluente al río Lagos M. I.	
DI-93	Industria Sigma Alimentos	Industrial	197,071	2,359,532	Arroyo La Saucedá afluente al río Lagos M. I.	PTAR
DI-94	Industria Bachoco	Industrial	197,358	2,359,573	Arroyo La Saucedá afluente al río Lagos M. I.	
DI-95	Granja porcícola (No se muestreo)	Pecuaria	205,407	2,371,084	Arroyo La Palma y posteriormente Presa Tlacualeche	Laguna
DI-96	Granja El Rebozo en construcción (Porcícola)	Pecuaria	798,320	2,355,523	Arroyo El Salto, arroyo Paso Hondo afluente río Lagos M. D.	
DI-97	Granja en Encinillas (Porcícola)	Pecuaria	800,024	2,353,098	Arroyo El Guayabo y/o Los Ahogados afluente río Lagos M. D.	
DI-98	Granja en Encinillas (Porcícola y avícola)	Pecuaria	799,377	2,352,621	Arroyo Encinillas, arroyo Las Tapias afluente río Lagos M. D.	Biodigestor
DI-99	Granja Granadillas (Porcícola)	Pecuaria	199,823	2,367,300	Canal de riego Cuarenta	Lagunas
DI-100	Granja porcícola a un costado del arroyo Los Ranchos	Pecuaria	205,788	2,371,606	Presa Tlacualeche y uso en riego agrícola	Biodigestor
DI-101	Granja porcícola en San José	Pecuaria	207,711	2,373,612	Bordo San Cirilo	Lagunas
DI-102	Granja porcícola Sanfandila en Dieciocho de Marzo	Pecuaria	211,106	2,376,725	Arroyo El Purgatorio afluente al río Cuarenta M. I.	Biodigestor
DI-103	Granja porcícola Texas	Pecuaria	212,583	2,379,292	Riego y excedentes afluentes al río Cuarenta M. I.	Biodigestor

## Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información

---

Clave	Nombre	Origen	X	Y	Cuerpo Receptor	Confinamiento y/o Tratamiento
DI-104	Granja porcícola en San Cirilo	Pecuaría	205,927	2,375,417	Canal de riego Cuarenta	Laguna

## 5.2 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUA Y DE TOXICIDAD EN LAS DESCARGAS Y EN EL RÍO VERDE Y AFLUENTES PRINCIPALES

Los Términos de Referencia establecen los alcances que a continuación se indican:

- Con base en los resultados de análisis de laboratorio de las descargas de agua residual, se evaluará el cumplimiento de las descargas con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.
- Se emitirán recomendaciones de carácter general para el adecuado manejo y/o tratamiento de las descargas de agua residual identificadas y/o caracterizadas.
- Se emitirán recomendaciones relativas a la conveniencia de fijar condiciones particulares de descarga (CPD's) a algunas de las descargas de agua residual identificadas y/o caracterizadas, o en caso contrario, si el cumplimiento de la NOM-001 es suficiente para los objetivos de calidad que se persiguen para las corrientes motivo de estudio.
- En la evaluación se hará mención de los contaminantes de importancia sanitaria encontrados en los vertidos de fuentes puntuales, y sus posibles efectos a la salud y al ecosistema.
- Se preparará un plano donde se indiquen todas las fuentes puntuales de contaminación identificadas, así como las de mayor relevancia e impacto en la calidad de los cuerpos receptores.

### 5.2.1 Calidad del Agua del Río Verde

Los parámetros de relevancia sanitaria usualmente utilizados como expresión general de la contaminación municipal son: demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO), bacterias coliformes fecales, oxígeno disuelto, así como los nutrientes en diversas formas.

Como marco de referencia para comparar y evaluar estos parámetros se consultó la normatividad de diversos países de la Unión Europea y Norteamérica, habiéndose adaptado los criterios establecidos para dichos parámetros. En la **Tabla 5-4** se indican las concentraciones de referencia.

**Tabla 5-4 Clasificación del Agua Superficial de Acuerdo a la Concentración de Contaminantes<sup>4</sup>**

Parámetro	Excelente	Aceptable	Ligeramente Contaminado	Contaminado	Severamente Contaminado
DBO <sub>5</sub> , mg/L	< 1.5	1.5 < 3.0	3.0 < 6.0	6.0 < 12.0	> 12.0
NTK, mg/L	< 0.5	< 1.0	1.1 – 5.0	5.1 – 9.9	> 10.0
Fósforo total, mg/L	< 0.05	< 0.10	< 0.50	< 1.0	> 1.0
SST, mg/L	< 20	20 < 40	40 < 100	100 < 280	> 280
Conductividad, µmhos/cm	< 500	< 1,000	1,000 – 1,500	1,500-2,000	> 2,000

Los resultados de calidad del agua de la ronda de muestreo efectuada para el presente estudio en el río Verde y en sus principales afluentes como el río Lagos, Chico, Jalostotitlán y Tepatitlán se comparan y

evalúan con respecto de los valores indicados en el cuadro precedente. En la **Tabla 5-5** se indican los valores promedio de muestreo para las seis estaciones de monitoreo del río Verde y una del río Lagos.

**Tabla 5-5 Concentración Promedio de Contaminantes en las Estaciones de Monitoreo del Río Verde y Lagos, mg/L a menos que se Indique otra Unidad**

Nombre	Conductividad @ 25°C (µmhos/cm)	pH @ 25°C	Sol. Disueltos Totales	SST	Oxígeno Disuelto	DBO <sub>5</sub>	DQO	N Amoniacal
RV, en Belén del Refugio	834	7.88	598	31	4.5	7.2	54	1.41
RL, en San Gaspar de los Reyes	1,081	8.18	770	13	7.7	9.5	96	8.62
RV, en San Nicolás de las Flores	931	8.53	722	66	7.1	10.4	70	0.25
RV, en Temacapulín	741	9.00	529	53	4.5	9.3	57	0.20
RV, en La Cuña	730	8.86	494	33	5.0	5.6	69	0.20
RV, aguas arriba del Río Tepatitlán	660	8.79	520	20	4.8	7.0	48	0.20
RV, en El Purgatorio	661	8.67	587	18	5.4	7.2	47	0.20

RV = Río Verde; RL = Río Lagos.

### ***Oxígeno Disuelto***

El contenido de oxígeno disuelto a lo largo del río Verde varía entre 4.5 y 7.7 mg/l. Los valores menores se encuentran en Belén del Refugio y en Temacapulín. La mejor calidad en relación a este parámetro corresponde a las estaciones de San Gaspar y San Nicolás. Las estaciones bajas de la cuenca, Aguas arriba de río Tepatitlán y Purgatorio también acusan valores bajos de oxígeno disuelto.

### ***Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)***

El contenido promedio de materia orgánica, medida como DBO<sub>5</sub>, en el río Verde está en el rango de 5.6 a 10.4 mg/L. La mejor calidad obtenida es en el sitio de La Cuña, con 5.6 mg/L, mientras que el mayor deterioro se observa en San Nicolás de las Flores, con 10.4 mg/L. El río Verde muestra un incremento gradual en el contenido de DBO<sub>5</sub>, con una notoria disminución en La Cuña aguas debajo de la confluencia del río El Salto.

En cuanto a la clasificación del río Verde, en cinco de sus seis estaciones de monitoreo su calidad es de “Contaminado” y solamente en una se obtiene mejoría –río Verde en La Cuña- para llegar a “Ligeramente contaminado”.

### ***Sólidos Suspendidos Totales (SST)***

La contaminación del agua en el río Verde medida como el contenido promedio de materia suspendida, definida como SST, no se manifiesta en forma grave ya que se encuentra en un intervalo de 18 a 66 mg/L. El sitio de monitoreo donde se obtiene la mejor calidad es en El Purgatorio, mientras que el mayor

## Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información

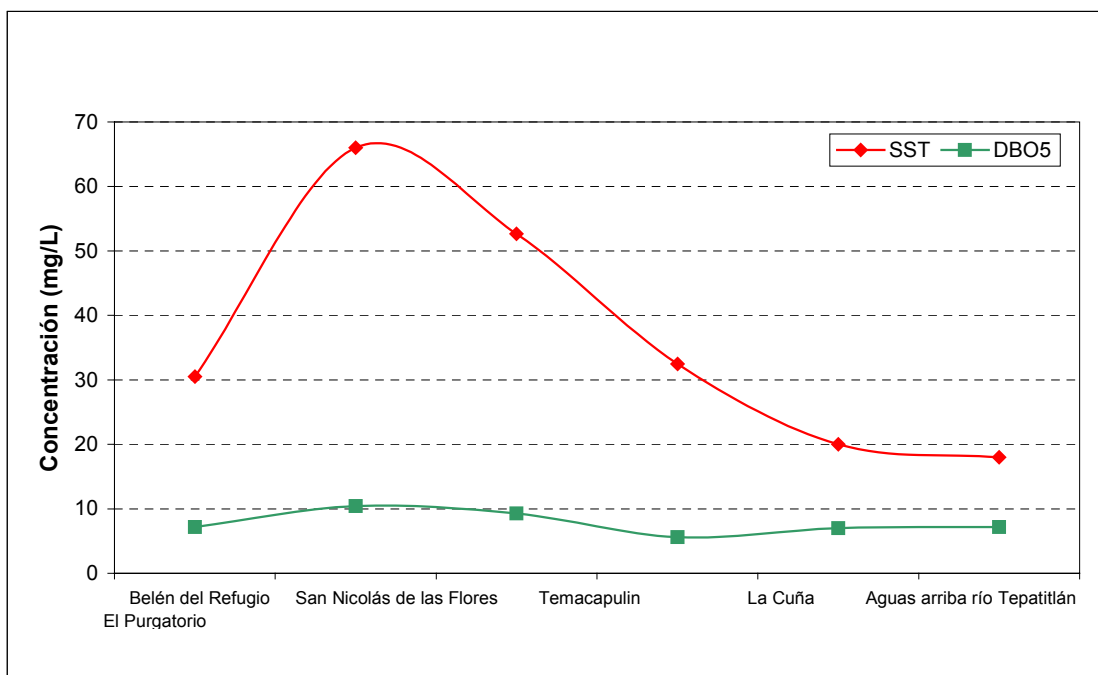
deterioro se tiene en San Nicolás de las Flores seguido de Temacapulín y en cuanto a la clasificación de su calidad es de “Ligeramente contaminado”; la concentración en los siguientes sitios de monitoreo no rebasa el valor de 33 mg/L, para obtener una calidad de “Aceptable” en Belén del Refugio, La Cuña y aguas arriba del río Tepatitlán y para llegar a “Excelente” en El Purgatorio.

**Tabla 5–6 Clasificación de la Calidad del Agua del Río Verde y Lagos de Acuerdo al Parámetro Evaluado**

Estación	Conductividad	SST	DBO <sub>5</sub>
RV-6, en Belén del Refugio	Aceptable	Aceptable	Contaminado
RL-1, en San Gaspar de los Reyes	Ligeramente contaminado	Excelente	Contaminado
RV-5, en San Nicolás de las Flores	Aceptable	Ligeramente contaminado	Contaminado
RV-4, en Temacapulín	Aceptable	Ligeramente contaminado	Contaminado
RV-3, en La Cuña	Aceptable	Aceptable	Ligeramente contaminado
RV-2, aguas arriba del Río Tepatitlán	Aceptable	Aceptable	Contaminado
RV-1, en El Purgatorio	Aceptable	Excelente	Contaminado

RV = Río Verde; RL = Río Lagos

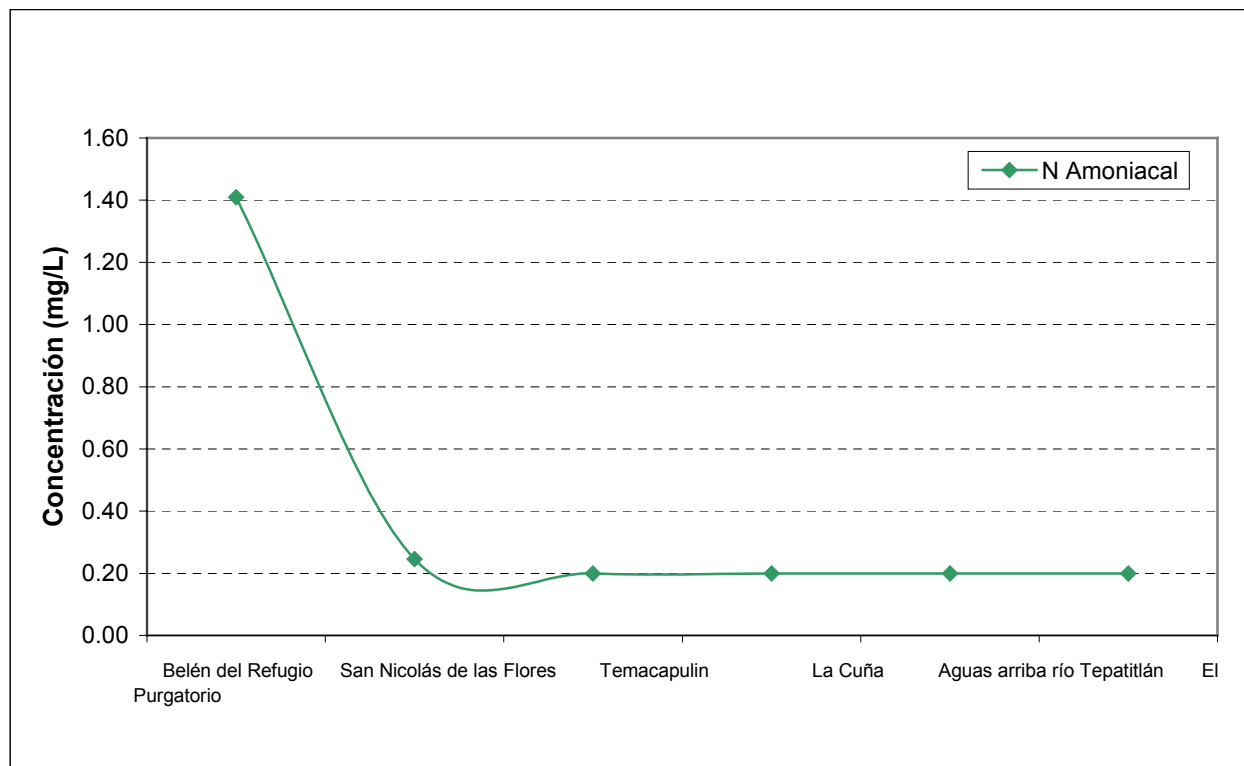
Figura 5–8 Concentración de SST y DBO<sub>5</sub> en el río Verde



### *Nitrógeno Amoniacal*

La contaminación del agua en el río Verde medida como el contenido promedio de nitrógeno amoniacal -nitrógeno combinado en forma de amoníaco (NH<sub>3</sub>) o amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)- obtenido de las dos rondas efectuadas para el presente estudio se encuentra en el rango de 0.20 a 1.41 mg/L. El sitio de monitoreo donde se obtiene el valor mayor de concentración de nitrógeno amoniacal es en la estación de Belén del Refugio con un valor de 1.41 mg/L, para después tener un descenso muy acentuado en la concentración de nitrógeno amoniacal hasta llegar a 0.25 mg/L en la estación inmediata de aguas abajo de monitoreo que se encuentra en San Nicolás de las Flores a pesar de recibir un poco antes aguas arriba el afluente del río Lagos con un valor muy alto de concentración igual a 8.62 mg/L, en los siguientes cuatro sitios de monitoreo nunca se rebasa el valor límite de detección del método de análisis que es de 0.20 mg/L, de este modo se tiene una condición favorable en términos de este parámetro evaluado.

Figura 5-3 Concentración de Nitrógeno Amoniacal en el río Verde

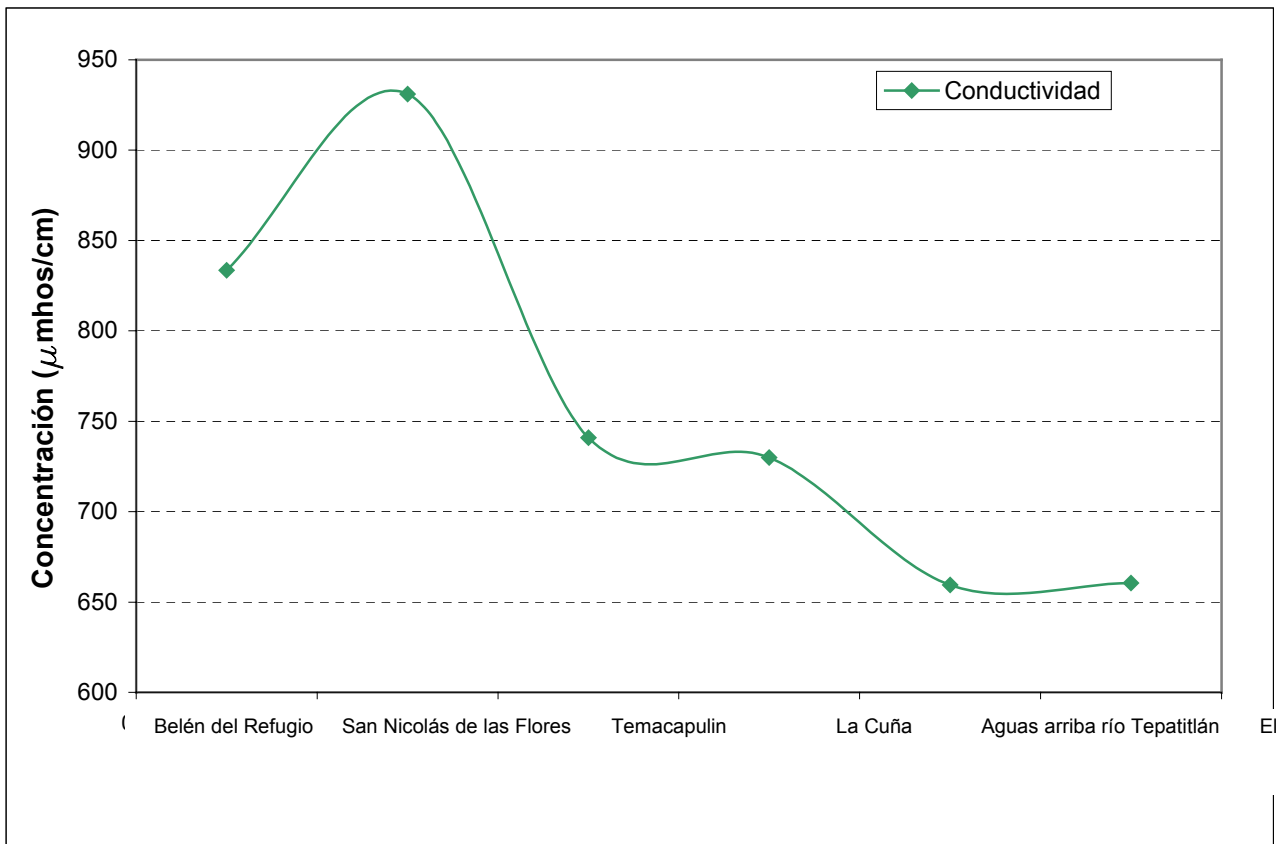


### Conductividad Específica

El contenido de sólidos disueltos en el río Verde es en términos generales favorable, debido a que las seis estaciones de monitoreo de acuerdo con el criterio de clasificación de calidad de agua obtuvieron una condición de “Aceptable”.

El río Verde en la primera estación de monitoreo que es en Belén del Refugio inicia con un valor de 834  $\mu\text{mhos/cm}$ , aumentando considerablemente y siguiendo la misma tendencia que los parámetros de  $\text{DBO}_5$  y SST hasta lograr alcanzar su valor máximo de 931  $\mu\text{mhos/cm}$  en la segunda estación de monitoreo a partir de la cual sigue una disminución constante y se consiguen valores por debajo del promedio que es de 759  $\mu\text{mhos/cm}$ , obteniendo su valor más bajo de 660  $\mu\text{mhos/cm}$  en la estación ubicada aguas arriba del río Tepatitlán seguida por la última estación que se encuentra en El Purgatorio obteniendo un valor prácticamente igual de 661  $\mu\text{mhos/cm}$ .

Figura 5-4 Conductividad Específica en el Río Verde



### 5.2.2 Calidad del Agua de los Afluentes Principales al Río Verde

En las siguientes tablas, se presenta la calidad del agua de las veinte estaciones de monitoreo en los principales afluentes al río Verde junto con sus tributarios, incluidos en el presente estudio, así como la evaluación de acuerdo a los criterios señalados en la **Tabla 5-7**. Posteriormente se efectúa la evaluación para cada parámetro

**Tabla 5-7 Concentración Promedio en Estaciones de Monitoreo de los Afluentes Principales y Algunos de sus Tributarios, mg/L a Menos que se Indique Otra Unidad**

Nombre	Conductividad a 25°C (µmhos/cm)	pH a 25°C	Sol. Sedimentables (ml/L)	SST	Grasas y Aceites	DBO <sub>5</sub>	DQO	N Total	P Total
Río Chico en Villa de Ornelas	730	8.52	<0.10	21	11.1	2.5	<45	1.14	0.98
Río Agostadero en Halconero de Abajo	1,055	8.32	<0.10	11	14.2	2.4	<45	0.70	0.12
Río Teocaltiche frente a Mendocina	890	8.01	<0.10	33	13.2	30.3	108	25.80	6.16
Río Cuarenta a un costado de las	430	7.24	<0.10	31	<5.0	5.7	49	5.51	7.36

## Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información

Nombre	Conductividad a 25°C (µmhos/cm)	pH a 25°C	Sol. Sedimentables (ml/L)	SST	Grasas y Aceites	DBO <sub>5</sub>	DQO	N Total	P Total
granjas Zorrillos (Río Lagos)									
Río Lagos aguas arriba de Lagos de Moreno, en cruce con libramiento	702	7.50	<0.10	29	12.8	35.2	121	14.60	7.21
Río Lagos en el Salto Zurita	916	8.34	<0.10	39	8.6	24.6	110	17.30	5.48
Río Lagos aguas debajo de Presa Alcalá	845	8.47	<0.10	32	11.4	8.8	<45	2.05	3.00
Río Jalostotitlán en Hacienda Vieja	570	8.18	<0.10	30	13.0	3.3	<45	1.10	5.07
Río San Miguel, en puente de Santa María de la O	796	8.94	<0.10	83	14.7	21.1	80	6.27	4.19
Río Ipalco, en Ipalco de Enmedio	480	8.48	<0.10	5	10.0	<2.0	<45	0.64	2.42
Río Valle en Valle de Guadalupe	573	9.10	<0.10	22	14.0	22.3	99	5.28	1.25
Río Tepatitlán aguas debajo de Presa Lagunillas	513	7.29	<0.10	9	10.7	2.7	<45	1.63	<0.20
Río Tepatitlán en El Salto	855	7.78	<0.10	23	10.9	24.4	78	37.00	3.83
Arroyo San José en El Ixtle	3,380	8.10	0.5	74	70.4	160.0	1,063	219.0	47.3
Río Jalpilla aguas arriba de Tlacuitapan	700	8.35	<0.1	16	11.0	3.3	45	0.3	4.3
Arroyo La Jara	1,860	7.00	<0.1	62	24.2	542.0	1,025	58.9	19.0
Arroyo Barroso aguas arriba del río San Juan de los Lagos	3,100	7.97	0.1	20	21.0	108.0	622	280.0	4.7
Arroyo Saltillo aguas debajo de La Cofradía	950	6.99	8.0	440	33.5	157.0	2,418	68.1	12.2
Arroyo Las Víboras aguas arriba de La Troja	530	7.36	<0.1	14	8.4	11.6	45	8.4	2.7
Arroyo Las Víboras aguas arriba del río Tepatitlán	590	7.31	<0.1	21	9.4	15.0	53	13.4	3.2

**Tabla 5-8 Clasificación de la Calidad del Agua de los Afluentes Principales de Acuerdo al Parámetro Evaluado**

Estación	Conductividad	SST	DBO <sub>5</sub>	Nitrógeno Total	Fósforo Total
Río Chico en Villa de Ornelas	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Ligeramente contaminado	Contaminado
Río Agostadero en Halconero de Abajo	Ligeramente contaminado	Excelente	Aceptable	Aceptable	Ligeramente contaminado

## Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información

Estación	Conductividad	SST	DBO <sub>5</sub>	Nitrógeno Total	Fósforo Total
Río Teocaltiche frente a Mendocina	Aceptable	Aceptable	Severamente contaminado	Severamente contaminado	Severamente contaminado
Río Cuarenta a un costado de las granjas Zorrillos (Río Lagos)	Excelente	Aceptable	Ligeramente contaminado	Contaminado	Severamente contaminado
Río Lagos aguas arriba de Lagos de Moreno, en cruce con libramiento	Aceptable	Aceptable	Severamente contaminado	Severamente contaminado	Severamente contaminado
Río Lagos en el Salto Zurita	Aceptable	Aceptable	Severamente contaminado	Severamente contaminado	Severamente contaminado
Río Lagos aguas debajo de Presa Alcalá	Aceptable	Aceptable	Contaminado	Ligeramente contaminado	Severamente contaminado
Río Jalostotitlán en Hacienda Vieja	Aceptable	Aceptable	Ligeramente contaminado	Ligeramente contaminado	Severamente contaminado
Río San Miguel, en puente de Santa María de la O	Aceptable	Ligeramente contaminado	Severamente contaminado	Contaminado	Severamente contaminado
Río Ipalco, en Ipalco de Enmedio	Excelente	Excelente	Aceptable	Aceptable	Severamente contaminado
Río Valle en Valle de Guadalupe	Aceptable	Aceptable	Severamente contaminado	Contaminado	Severamente contaminado
Río Tepatitlán aguas debajo de Presa Lagunillas	Aceptable	Excelente	Aceptable	Ligeramente contaminado	Severamente contaminado
Río Tepatitlán en El Salto	Aceptable	Aceptable	Severamente contaminado	Severamente contaminado	Severamente contaminado
Arroyo San José en El Ixtle	Severamente contaminado	Ligeramente contaminado	Severamente contaminado	Severamente contaminado	Severamente contaminado
Río Jalpilla aguas arriba de Tlacuitapan	Aceptable	Excelente	Ligeramente contaminado	Excelente	Severamente contaminado
Arroyo La Jara	Contaminado	Ligeramente contaminado	Severamente contaminado	Severamente contaminado	Severamente contaminado
Arroyo Barroso aguas arriba del río San Juan de los Lagos	Severamente contaminado	Aceptable	Severamente contaminado	Severamente contaminado	Severamente contaminado
Arroyo Saltillo aguas debajo de La Cofradia	Aceptable	Severamente contaminado	Severamente contaminado	Severamente contaminado	Severamente contaminado
Arroyo Las Víboras aguas arriba de La Troja	Aceptable	Excelente	Contaminado	Contaminado	Severamente contaminado
Arroyo Las Víboras aguas arriba del río Tepatitlán	Aceptable	Aceptable	Severamente contaminado	Severamente contaminado	Severamente contaminado

### Conductividad

La mayoría de las corrientes evaluadas pueden considerarse como aceptables, y algunas (Río Ipalco y Río Cuarenta cerca de las granjas Zorrillos) pueden considerarse como excelentes. Sin embargo, dos de ellas, el arroyo San José en el Ixtle y el Arroyo Barroso aguas arriba del río San Juan de los Lagos por su elevado valor de conductividad presentan condición de severamente contaminada.

### ***Sólidos Suspendidos Totales***

En relación a este parámetro, las estaciones Río Chico, Río Teocaltiche, Río Cuarenta y Río Lagos (en sus tres sitios) y el río Jalostotitlán, pueden considerarse como aceptables. Además el río Agostadero como excelente. Sin embargo los arroyos la jara y San José presentan condiciones ligeramente contaminadas y el Arroyo Saltillo severamente contaminado.

### ***Demanda Bioquímica de Oxígeno***

El panorama general de la concentración de materia orgánica, evaluada como DBO5 indica condiciones de contaminación importante. Solamente las estaciones Río Chico, Río Agostadero, Río Ipalco y Río Tepatitlán aguas abajo de Lagunillas presentan condiciones aceptables con valores inferiores a 3.0 mg/l.

Por otra parte las corrientes el Cuarenta, Río Jalostotitlán y Río Jalpilla presentan condiciones ligeramente contaminadas con valores entre 3 y 6 mg/l. El resto de las corrientes presentan condiciones de contaminación e incluso contaminación severa. Destacando tramos del río Lagos y del río Tepatitlán.

### ***Nitrógeno Total***

El patrón del nitrógeno total sigue en general el observado por la materia orgánica. . Solamente los ríos Agostadero, Ipalco y Agostadero presentan condiciones aceptables o mejores. Las condiciones más severas de contaminación se presentan en el río Teocaltiche, Tepatitlán en el Salto, en el arroyo San José, arroyo la Jara, Arroyo Barroso, Arroyo las víboras aguas arriba del río Tepatitlán y Arroyo Saltillo.

### ***Fósforo Total***

En relación a este parámetro casi todas las corrientes evaluadas presentan condición severamente contaminadas porque presentan valores mayores a 1.0 mg/l. Escapan a esta condición únicamente las corrientes de la parte alta de la cuenca el río Chico er Villa Ornelas y el Río Agostadero en Halconero de Abajo.

En general los afluentes presentaron condiciones indicadoras de contaminación significativa en lo que se refiere a materia orgánica, nitrógeno total y fósforo.

### **5.2.3 Metales Pesados en el Río Verde y Afluentes Principales**

Se efectuó el análisis de metales pesados y cianuro en 9 de las 27 estaciones de monitoreo situadas sobre el río Verde y sus principales afluentes con algunos de sus tributarios. Para el presente estudio, se efectuó una ronda de muestreo. En el siguiente cuadro se presentan los resultados reportados por el laboratorio.

**Tabla 5–9 Concentración de Metales Pesados y Cianuro en los Afluentes Principales del Río Verde, Valores en mg/L**

Estación	Cn	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
Río Chico en Villa de Ornelas	<0.01	0.012	<0.050	<0.100	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
Río Lagos aguas arriba de Lagos de Moreno, en cruce con libramiento	<0.01	0.005	<0.050	<0.100	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.050
Río Lagos en el Salto Zurita	<0.01	0.006	<0.050	<0.100	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
Río Lagos aguas debajo de Presa Alcalá	<0.01	0.013	<0.050	<0.100	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
Río Jalostotitlán en Hacienda Vieja	<0.01	0.007	<0.050	<0.100	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
Río Tepatitlán aguas debajo de Presa Lagunillas	<0.01	<0.005	<0.050	<0.100	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
Río Tepatitlán en El Salto	<0.01	<0.005	<0.050	<0.100	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
Río Jalpilla aguas arriba de Tlacuitapan	<0.01	<0.005	<0.050	<0.100	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
Arroyo Las Víboras aguas arriba del río Tepatitlán	<0.01	0.006	<0.050	<0.100	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050

La concentración de metales pesados y cianuros en los ríos y arroyos caracterizados se compara con los Lineamientos de Calidad del Agua establecidos en la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (LFDMA). Los Lineamientos establecen valores máximos para ríos con uso en abastecimiento público urbano y para ríos con uso en riego agrícola, en el siguiente cuadro se indican los valores en cuestión.

**Tabla 5–10 Valores Máximos Fijados en los Lineamientos de Calidad del Agua de la LFDMA, mg/L**

Parámetros	Abastecimiento para Uso Público Urbano	Riego Agrícola
Arsénico	0.05	0.10
Cadmio	0.01	0.01
Cianuros	0.02	0.02
Cobre	1.00	0.20
Cromo	0.05	0.10
Mercurio	0.001	---
Níquel	0.01	0.20
Plomo	0.05	0.50
Zinc	5.0	2.0

En siete de los nueve parámetros evaluados, los resultados de laboratorio indican la misma concentración a lo largo de los ríos Tepatitlán, Chico, Lagos y Jalostotitlán: Cianuro, Cadmio, Cobre, Cromo total,

Mercurio, Níquel y Plomo; en todos los casos se reportan valores por debajo del límite de detección del método.

En el río Chico, Lagos y Jalostotitlán además del arroyo de Las Víboras se detectan sitios en los que se presentan incrementos moderados en la concentración de Arsénico y Zinc. A continuación se comentan los resultados de estos dos parámetros.

### *Arsénico*

En 3 de las 9 estaciones de monitoreo se reportan del evento de muestreo concentraciones de arsénico de  $< 0.005$  mg/L ( $5\mu\text{g}$  microgramos por litro).

Se detectan dos subtramos del río Lagos en los que se manifiesta un incremento en la concentración de arsénico; el primero es de aguas arriba de Lagos de Moreno en cruce con libramiento hasta el Salto Zurita, el segundo subtramo va del Salto Zurita a aguas debajo de la presa Alcalá –aguas arriba de San Juan de los Lagos-.

En el primer subtramo se obtienen los valores menores de arsénico y en el cual el incremento de los valores puntuales no es acentuado ya que va de 5 a 6  $\mu\text{g/L}$ ; en el segundo subtramo el incremento de la concentración es más del doble ya que sube del rango de 6 a 13  $\mu\text{g/L}$ , siendo este punto de monitoreo - río Lagos aguas debajo de Presa Alcalá- el cual posee el valor mayor de concentración seguido del río Chico en Villa de Ornelas y río Jalostotitlán en Hacienda Vieja con 13, 12 y 7  $\mu\text{g/L}$  respectivamente.

En la estación de monitoreo del arroyo Las Víboras se obtiene un valor mayor de 1  $\mu\text{g/L}$  con respecto al límite de detección del método de análisis para obtener una concentración de 6  $\mu\text{g/L}$ , este arroyo es tributario del río Tepatitlán por la margen izquierda.

Ninguna de las concentraciones reportadas excede el valor máximo de los Lineamientos de Calidad fijados para ríos con uso en abastecimiento público o en riego agrícola.

### *Zinc*

En 8 de las 9 estaciones de monitoreo del evento de muestreo se reportan concentraciones de Zinc de  $< 0.050$  mg/L ( $50\mu\text{g/L}$  microgramos por litro).

Se detecta en una estación de monitoreo un ligero incremento en la concentración de Zinc registrado en el río Lagos aguas arriba de Lagos de Moreno, en cruce con el libramiento con el valor de límite de detección del método de análisis que es de 0.050 mg/L ( $50\mu\text{g/L}$  microgramos por litro).

En todas las estaciones de monitoreo se obtienen valores no mayores de 50  $\mu\text{g/L}$ , por consiguiente ninguna de las concentraciones reportadas excede el valor máximo de los Lineamientos de Calidad fijados para ríos con uso en abastecimiento público urbano y en riego agrícola.

En lo referente a cianuro, cobre, cromo, y mercurio, los valores obtenidos son en todos los casos inferiores a las concentraciones señaladas para fuentes de abastecimiento público y riego agrícola. En los valores de cadmio, níquel y plomo, en todos los casos fueron inferiores a los límites de detección de los métodos analíticos empleados.

#### 5.2.4 Toxicidad Aguda en el Río Verde y Afluentes Principales

La evaluación de la toxicidad aguda de las muestras tomadas en las estaciones de monitoreo ubicadas a lo largo del río Verde y sus afluentes principales se efectuó en el laboratorio del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Las pruebas implementadas fueron de toxicidad aguda con el organismo *Vibrio fischeri* (Microtox), aplicando la metodología IMTA CAHB6-19, CAHB6-21 y con el organismo *Daphnia magna* aplicando la metodología IMTA CAHB6-04. Las muestras de agua colectadas se refrigeraban y se almacenaban uno o dos días máximo, antes de ser enviadas a las instalaciones del IMTA. En todos los casos las muestras se recibieron en el IMTA, para efectuar la inoculación e iniciar las pruebas, antes del tiempo máximo que puede transcurrir entre la toma de muestras y el inicio de las pruebas, que es de 120 horas o el equivalente en 5 días.

La prueba calcula el porcentaje de dilución de la muestra original, en el cual se muere la mitad de la población de organismos ( $CE_{50}$ ); entre más bajo es este valor más tóxica es la muestra. Una muestra que diluida al 25% ocasiona la muerte de la mitad de la población ( $CE_{50} = 25\%$ ) es más tóxica que una muestra con un  $CE_{50} = 50\%$ , debido a que con menos porción de la muestra original muere el mismo porcentaje de organismos.

Con base al número de organismos muertos en la población expuesta, se determina el porcentaje de mortalidad respecto a un lote control de organismos mantenidos en forma paralela durante las 48 horas que dura el bioensayo, que regularmente presenta 100% de sobrevivencia al término de dicho período.

Los porcentajes de mortalidad obtenidos para una serie de diluciones, preparadas a partir de la muestra original, se relacionan gráficamente con la concentración correspondiente de la muestra y se construye un gráfico logarítmico que define la curva que explica el fenómeno. En esta curva puede ser interpolada la dosis que genera un porcentaje de efecto elegido y que en términos estándar es manejado al efecto medio o letalidad media ( $CE_{50}$  o  $LC_{50}$ ).

En el bioensayo con *Vibrio fischeri* las bacterias expuestas a la muestra de agua, de existir agentes tóxicos en ella, mostrarán cambios en la emisión normal de su luminosidad, reduciéndola en la medida en que la concentración y el efecto negativo de los tóxicos se incrementa. Con estos cambios de luminosidad, medidos con ayuda de un sensor (Equipo Microtox) y relacionándolos gráficamente a la concentración de la muestra se construye un gráfico logarítmico y la curva que explica el fenómeno, en ella se interpola la dosis que genera un porcentaje de efecto elegido y que en términos estándar es el efecto medio ( $CE_{50}$ ).

Una vez que se cuenta con el  $CE_{50}$  se calculan las unidades de toxicidad, UT, con la siguiente ecuación:

$$UTA = \frac{100}{CE_{50}}$$

En el caso de que la muestra con la concentración al 100% afecte a un número menor que al 50% de los organismos, no se puede calcular el  $CE_{50}$  y por lo tanto tampoco se pueden calcular las unidades de toxicidad. En este caso se reporta “presencia” de toxicidad.

Se efectuaron pruebas de toxicidad aguda con *Vibrio fischeri* y *Daphnia magna* en las seis estaciones de monitoreo del río Verde y una en el río Lagos. Se efectuaron dos rondas de muestreo desarrolladas en el presente estudio. También se realizaron pruebas de toxicidad aguda con *Vibrio fischeri* en los principales afluentes al río Verde y en algunos tributarios de los mismos. En la **Tabla 5-11** y **4-9** se presentan los resultados reportados por el IMTA.

**Tabla 5–11 Resultados de las Pruebas de Toxicidad en el Río Verde y Lagos, (1ª campaña / 2ª campaña)**

Estación	Toxicidad <i>Vibrio fischeri</i>		Toxicidad <i>Daphnia magna</i>	
	CE <sub>50</sub> (%)	Unidades de Toxicidad, UT	CE <sub>50</sub> (%)	Unidades de Toxicidad, UT
Río Verde en Belén del Refugio	TND/TND	---/---	TND/TND	---/---
Río Lagos en San Gaspar de los Reyes	TND/TND	---/---	TND/TND	---/---
Río Verde en San Nicolás de las Flores	73.726/TND	1.356/---	TND/TOXICIDAD > 100% <sup>a)</sup>	---/Presencia Toxicidad
Río Verde en Temacapulín	TND/29.503	---/3.389	TND/TND	---/---
Río Verde en La Cuña	TND/TND	---/---	TND/TND	---/---
Río Verde aguas arriba del Río Tepatitlán	TND/TND	---/---	TND/TND	---/---
Río Verde en El Purgatorio	TND/TND	---/---	TND/TND	---/---

TND = Toxicidad No Detectada

El efecto que produce la muestra al 100% es 17.37 (CE<sub>17.37</sub> = 100%)

**Tabla 5–12 Resultados de las Pruebas de Toxicidad en los Afluentes Principales al Río Verde y Algunos de sus Tributarios**

Estación	Toxicidad <i>Vibrio fischeri</i>	
	CE <sub>50</sub> (%)	Unidades de Toxicidad, UT
Río Chico en Villa de Ornelas	TND	-
Río Lagos en el Salto Zurita	71.08	1.41
Río Lagos aguas debajo de Presa Alcalá	TND	-
Río Jalostotitlán en Hacienda Vieja	TND	-
Río Ipalco, en Ipalco de Enmedio	TND	-
Río Valle en Valle de Guadalupe	46.530	2.149
Río Tepatitlán aguas debajo de Presa Lagunillas	TND	-
Río Tepatitlán en El Salto	TND	-
Río Jalpilla aguas arriba de Tlacuitapan	TND	-
Arroyo La Jara (Crucero de San Juan de los Lagos)	1.250	80.000
Arroyo Barroso aguas arriba del río San Juan de los Lagos	13.131	7.616
Arroyo Las Víboras aguas arriba del río Tepatitlán	TND	-

TND = Toxicidad No Detectada

El marco de referencia utilizado para evaluar los resultados de las pruebas de toxicidad se presenta en la **Tabla 5–12**.

**Tabla 5–13 Escala de Toxicidad Aguda Aplicable al Río Verde y sus Afluentes Principales (Institute for Inland Water Management & Waste Water Treatment of Nederland)<sup>5</sup>**

Clasificación	CE <sub>50</sub> %	UT	No. de Muestras <i>Vibrio fischeri</i>	No. de Muestras <i>Daphnia magna</i>
Toxicidad aguda elevada	≤ 0.99	> 100	0	0
Toxicidad aguda significativa	10 – 1.0	10 – 100	1	0
Toxicidad aguda moderada	51 – 10.1	2 – 10	3	0
Toxicidad aguda despreciable	99 - 52	1 – 2	2	0
Sin Toxicidad aguda	> 99.99	< 1	20	13
Presencia de toxicidad	No se puede calcular	No se puede calcular	0	1

A continuación se comentan los resultados de las pruebas de toxicidad con base en la clasificación resultante de las Unidades de Toxicidad Aguda (UT) reportadas.

Los resultados de las pruebas de toxicidad aguda con *Vibrio fischeri* reportados por el IMTA señalan que en 4 de las 6 estaciones del río Verde y en la del río Lagos no se detectó toxicidad en ninguna de las dos rondas de muestreo; en las 2 estaciones restantes del río Verde se reporta toxicidad en un evento.

Una de las cuales es la de San Nicolás de las Flores, en donde en la primer ronda la concentración de la muestra diluida al 73.726% causa la muerte de la mitad de la población de organismos utilizados en el bioensayo, obteniendo un valor de 1.356 unidades de toxicidad (UT), lo que le confiere de acuerdo al marco de referencia utilizado un grado de toxicidad aguda despreciable.

La otra estación de monitoreo del río Verde en Temacapulin registra en la segunda ronda una CE<sub>50</sub> = 29.503 obteniéndose un valor de 3.389 UT, con las cuales se clasifica como una toxicidad aguda moderada con respecto al marco de referencia utilizado.

Con lo que respecta a los resultados reportados de las pruebas de toxicidad con *Daphnia magna* en 5 de las 6 estaciones del río Verde y en la estación de monitoreo del río Lagos no se detectó toxicidad en ninguna de las dos rondas de muestreo realizadas, reportándose solamente en la segunda ronda en San Nicolás de las Flores la situación de que la muestras al 100% de concentración no afecta al menos el 50% de los organismos y llega únicamente al 17.37% de afectación de los organismos [CE<sub>17.37</sub> = 100%], por lo que no se pueden calcular las unidades de toxicidad (UT) reportándose solamente la “presencia” de toxicidad.

En lo que respecta a las estaciones de monitoreo de los afluentes principales junto con algunos de sus tributarios al río Verde, a 12 de las 20 estaciones de monitoreo se les realizaron pruebas de toxicidad aguda con *Vibrio fischeri* y de las cuales se obtiene que en ocho de las estaciones no se detectó toxicidad alguna, presentándose en la estación del río Lagos en el Salto Zurita el valor que produce la muestra diluida al 71.084% ocasiona la muerte de la mitad de la población de organismos, por lo que se obtiene un valor de 1.41 UT, confiriéndole una clasificación de toxicidad aguda despreciable.

Además en dos estaciones de monitoreo se obtiene de acuerdo al marco de referencia utilizado la clasificación de toxicidad aguda moderada, una de las cuales esta situada sobre el río Valle en Valle de Guadalupe y la otra en el arroyo Barroso, aguas arriba del río San Juan de los Lagos con un valor de 2.149 y 7.616 unidades de toxicidad, respectivamente. En donde el arroyo Barroso que es afluente por la

margen derecha al río San Juan de los Lagos y presenta toxicidad debido a que es el cuerpo receptor aguas arriba de varias descargas de granjas que se dedican a la actividad porcina, de las cuales solamente una presenta tratamiento a sus aguas residuales con un sistema de digestión anaeróbica.

El arroyo La Jara también perteneciente a los tributarios del río San Juan de los Lagos por la margen izquierda, localizado aguas debajo del municipio del mismo nombre, presenta un valor de 80 unidades de toxicidad (UT) para ser clasificado con una toxicidad aguda significativa, obteniendo el valor más alto de toxicidad en lo que respecta a los tributarios de los afluentes principales.

### 5.2.5 Contaminantes Básicos en las Descargas de Agua Residual de Tipo Industrial

Se efectuó la caracterización de ocho descargas de agua residual de origen industrial, algunos de los vertidos son efluentes de sistemas de tratamiento, mientras que otros corresponden a aguas residuales crudas. Los parámetros evaluados del grupo de contaminantes básicos son: temperatura, pH, sólidos sedimentables, grasas y aceites, SST, DBO<sub>5</sub>, Nitrógeno total, Fósforo total; así como la conductividad y la DQO, estos dos últimos, no regulados por la NOM-001.

En la **Tabla 5–14** se presentan los resultados de calidad del agua reportados por el laboratorio, se recuerda que las muestras analizadas fueron de tipo instantáneo por lo que los resultados se comparan con los límites máximos permisibles (LMP) Promedio Diario, los cuales son el valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

**Tabla 5–14 Concentración de Contaminantes Básicos en las Descargas de Agua Residual de Diversas Industrias, mg/L (Excepto Cuando se Especifique)**

Descarga	Temp. (°C)	Conductividad @ 25°C (µmhos/cm)	pH @ 25°C	Sol. Sedimentables (mL/L)	SST	G y A	DBO <sub>5</sub>	DQO	N Total	P Total
Coca Cola	30.8	875	9.20	<0.1	34	6.2	870.0	1,640	5.8	21.0
Envases y Plásticos TITÁN	22.4	545	6.90	0.3	34	27.2	141.0	325	12.8	3.0
Parque Industrial Los Altos (AVIBEL)	24.2	3,930	10.31	<0.1	85	40.4	1,383.0	2,799	128.0	10.0
Industria L. de M.	38.0	36,900	12.84	1.1	354	68.5	1,470.0	2,758	54.4	49.7
Industria Sigma Alimentos	24.4	2,420	8.23	<0.1	42	55.4	117.0	241	4.9	64.6
Industria Bachoco	22.0	1,341	6.38	29.2	800	693.0	2,970.0	3,833	191.0	26.0
Nestlé en Parque Industrial de Lagos de Moreno	21.9	1,425	5.21	1.0	182	40.5	1,290.0	2,543	39.8	23.7
PTAR del Parque Industrial Lagos de Moreno	22.3	2,050	7.25	0.8	102	34.3	280.0	706	165.0	31.9

A continuación se presentan las observaciones derivadas de la revisión de la calidad de las aguas residuales descargadas:

De las ocho descargas evaluadas, se detecta que todas cumplen con el parámetro de temperatura en el valor del límite máximo permisible (LMP) Promedio Diario.

- De la descarga de Coca-Cola al arroyo Los Palos, afluente al río Tepatitlán que desemboca por la margen izquierda en el río Verde, se identifica que excede el LMP establecido en lo que respecta al parámetro de  $\text{DBO}_5$ , y posee un pH básico dentro del límite, con un valor de 9.20 unidades.
- La industria de Envases y Plásticos TITÁN en su descarga afluente al arroyo Los Palos, solamente excede el LMP establecido para el parámetro de grasas y aceites, la coloración de la descarga de agua residual presenta una tonalidad de gris oscuro muy acentuado.
- En la descarga de la industria AVIBEL ubicada dentro del Parque Industrial Los Altos, localizado en el municipio de Tepatitlán, se identifica que excede en tres parámetros los LMP establecidos: Grasas y Aceites,  $\text{DBO}_5$  y Nitrógeno total, además de presentar un valor alto en conductividad de 3930  $\mu\text{mhos/cm}$  y un  $\text{pH}=10.31$  excediendo así el rango permisible del potencial de hidrógeno que es de 5 a 10 unidades.
- Del agua residual de la industria L. de M. se obtienen cinco valores de concentraciones que exceden los LMP establecidos: SST, Grasas y Aceites,  $\text{DBO}_5$ , Fósforo total y el pH con valor de 12.84 unidades, además de poseer una conductividad alta del valor de 36,900  $\mu\text{mhos/cm}$ .
- En la Industria Sigma Alimentos, los parámetros de Grasas y Aceites y Fósforo total son los que exceden los valores de los LMP establecidos de acuerdo al marco de referencia utilizado, en donde además la conductividad es moderadamente alta con un valor de 2420  $\mu\text{mhos/cm}$ .
- La descarga del agua residual de la industria Bachoco, afluente al arroyo La Sauceda, y este a su vez afluente al río Lagos por la margen izquierda, excede en cinco ocasiones los LMP, los parámetros que se encuentran fuera de norma son los siguientes: sólidos sedimentables, SST, Grasas y Aceites,  $\text{DBO}_5$  y Nitrógeno total, así como una conductividad ligeramente alta de 1341  $\mu\text{mhos/cm}$ .
- Se obtienen dos parámetros que sobrepasan los LMP establecidos: Grasas y Aceites y  $\text{DBO}_5$ , los cuales pertenecen a las muestras de agua residual de la industria Nestlé ubicada en el Parque Industrial de Lagos de Moreno, además de registrar un valor de  $\text{pH}=5.21$  unidades, indicativo de un agua moderadamente ácida y una conductividad ligeramente alta de 1425  $\mu\text{mhos/cm}$ .
- Las instalaciones de la PTAR del Parque Industrial de Lagos de Moreno, se encuentran en completo abandono, y la descarga de su agua residual es afluente a un bordo nuevo, afluente a su vez aguas abajo a la presa de San Isidro para desembocar por último en el río Lagos por la margen derecha; de acuerdo a los resultados reportados por el laboratorio, se obtienen cuatro parámetros que exceden los LMP establecidos: Grasas y Aceites,  $\text{DBO}_5$ , así como Nitrógeno y Fósforo total, además de poseer un valor de conductividad moderadamente alto igual a 2050  $\mu\text{mhos/cm}$ .

### 5.2.6 Contaminantes Básicos en las Descargas de Agua Residual Municipal Cruda

Se efectuó la caracterización de dos descargas de agua residual cruda de origen municipal, en donde las descargas son efluentes que provienen de 2 localidades: la primer localidad caracterizada fue Mezcala perteneciente al municipio de Tepatitlán de Morelos y Acatic fue la segunda localidad ubicada en el municipio del mismo nombre. En la **Tabla 5-15** se muestran los resultados reportados por el laboratorio.

**Tabla 5–15 Contaminantes Básicos en las Descargas de Agua Residual Municipal Cruda, mg/l Excepto Cuando se Especifique**

Localidad	Temp. (°C)	Conductividad (µmhos/cm)	pH @ 25°C	Sólidos Sedimentables (mL/L)	SST	G y A	DBO <sub>5</sub>	DQO	N Total	P Total
Mezcala	15.2	870	7.87	<0.1	8	<5.0	27.8	84	16.0	4.5
Descarga municipal principal de Acatic	22.0	1,030	6.81	8.0	460	118.0	574.0	854	60.3	19.8

El marco de referencia utilizado para evaluar la carga de contaminantes de las aguas residuales municipales crudas, son los valores indicados en la **Tabla 5–16**, el cual clasifica al agua residual, por su concentración de contaminantes, en: débil, media y fuerte.

**Tabla 5–16 Concentración de Contaminantes en el Agua Residual según su Carga**

Parámetro	Unidad	Débil	Media	Fuerte
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	110	220	400
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	250	500	1,000
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	100	220	350
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	20	40	70
Fósforo Total	mg/L	4	8	15
Grasas y aceites	mg/L	50	100	150
Sólidos Sedimentables	ml/l	5	10	20

En la localidad de Mezcala se obtienen 6 concentraciones de contaminantes por debajo de la clasificación de débil y son los siguientes parámetros: sólidos sedimentables, SST, Grasas y Aceites, DBO<sub>5</sub>, DQO y el Nitrógeno total; con excepción del Fósforo total, el cual presenta un ligero incremento por arriba de la clasificación de débil.

En lo que respecta a la concentración de contaminantes en el agua residual de la localidad de Acatic, solamente el parámetro de sólidos sedimentables presenta un valor ligeramente por arriba del promedio de la clasificación Débil-Media, de los seis parámetros restantes, tres son mayores a la concentración media de contaminantes: Grasas y Aceites, DQO y Nitrógeno total; y los otros tres sobrepasan la clasificación de fuerte en concentración de contaminantes: SST, DBO<sub>5</sub> y el Fósforo total.

### 5.2.7 Contaminantes Básicos en las Descargas de Granjas Porcícolas

Se efectuó la caracterización de las descargas de las excretas y/o del efluente de los sistemas de tratamiento lagunar existentes en dieciséis granjas porcícolas. En la **Tabla 5–17** se muestran los resultados reportados por el laboratorio.

Para evaluar el cumplimiento de la normatividad se comparan los resultados con respecto de los límites máximos permisibles para cuerpo receptor tipo “A” Promedio Diario, ya que ninguna de las

## Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información

instalaciones caracterizadas vierte a los tramos clasificados como cuerpo receptor tipo “B” en la zona de estudio.

**Tabla 5–17 Contaminantes Básicos en las Descargas de Agua Residual de Granjas Porcícolas, mg/l (Excepto cuando se Especifique)**

Descarga	Temperatura (°C)	Conductividad (µmhos/cm)	pH @ 25°C	Sol. Sedimentables (mL/L)	SST	Grasas y Aceites	DBO <sub>5</sub>	DQO	N Total	P Total
Granja porcícola El Mayoral	15.0	6,310	6.91	260.0	13,400	1,560.0	5,700	12,520	1,077.0	393.0
Granja porcícola Los Planes	16.0	13,680	8.16	20.0	2,467	122.0	570	3,493	1,106.0	109.0
Granja porcícola No.2 en La Cofradia	16.0	6,100	6.87	90.0	6,200	572.0	5,640	11,362	724.0	176.0
Granja porcícola No.1 en La Cofradia	15.0	3,750	7.05	<0.1	15	41.6	1,615	2,836	440.0	82.0
Granja porcícola GENA La Estancia #4	18.0	705	7.40	<0.1	175	13.5	56	131	33.0	2.6
Granja porcícola No.1 aguas arriba de La Jara Santa Rosa	18.0	3,740	7.84	3.0	268	25.8	163	813	361.0	31.9
Granja porcícola No.2 aguas arriba de La Jara Santa Rosa	25.0	8,450	7.80	22.0	790	15.2	342	1,607	1,327.0	118.0
Granja porcícola No.3 aguas arriba de La Jara Santa Rosa	25.5	3,380	7.61	0.8	220	16.1	166	974	303.0	62.3
Granja porcícola No.2 en San José del Potrero	24.0	3,140	7.55	10.5	80	140.0	1,080	2,491	335.0	93.2
Granja porcícola No.1 en San José del Potrero	21.0	2,810	7.57	0.7	230	36.4	158	576	220.0	64.9
Granja porcícola Sanfandila en San Luis Gonzaga	20.0	8,830	7.41	245.0	13,100	932.0	12,000	21,498	1,052.0	1,075.0
Granja porcícola al arroyo Los Ranchos	24.3	8,330	8.01	6.7	32	36.6	249	2,150	831.0	51.0
Granja porcícola en San José	23.2	8,180	7.59	91.7	2,200	322.0	5,122	14,714	1,192.0	417.0
Granja porcícola Texas	25.3	5,320	7.63	0.6	84	29.5	141	1,021	548.0	89.5
Granja porcícola Sanfandila en Dieciocho de Marzo	21.1	7,220	6.67	125.0	3,400	607.0	5,964	13,625	1,037.0	314.0

## Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información

Descarga	Temperatura (°C)	Conductividad (µmhos/cm)	pH @ 25°C	Sol. Sedimentables (mL/L)	SST	Grasas y Aceites	DBO <sub>5</sub>	DQO	N Total	P Total
Granja porcícola Sanfandila	17.9	6,210	7.23	124.0	3,100	505.0	3,182	10,498	890.0	266.0

A continuación se presentan los comentarios que se derivan de la revisión de la calidad de las aguas residuales descargadas.

- Solamente en una de las dieciséis descargas evaluadas -Granja porcícola GENA La Estancia #4- no excede los LMP establecidos para los ocho contaminantes básicos analizados que son: Temperatura, pH, Sólidos sedimentables, Sólidos suspendidos totales, Grasas y aceites, DBO<sub>5</sub>, Nitrógeno y Fósforo total. Sin embargo dicha descarga se muestreó combinada en un canal que recibe el vertido de la granja y el cual conduce agua de riego sobrante, siendo así afluente del arroyo La Estancia, para terminar incorporándose por la margen izquierda al río Verde.
- De los ocho parámetros evaluados, únicamente en dos: Temperatura y pH, son cumplidos en su totalidad por las dieciséis descargas evaluadas en el rango de valores establecidos por los LMP.
- En 11 de las 16 descargas evaluadas se exceden los LMP establecidos para el parámetro de sólidos sedimentables, que comprenden el rango de valores de 3 a 260 ml/L.
- En 11 de las 16 descargas evaluadas se registran valores que exceden los LMP marcados por la norma de referencia para los sólidos suspendidos totales (SST), los valores se encuentran entre los 220 a 13,400 mg/L.
- En 13 de las 16 descargas de las granjas porcícolas caracterizadas, se obtienen datos que exceden los LMP para el parámetro de grasas y aceites, con valores que comprenden el rango de 25.8 a 1560 mg/L.
- En 11 de las 16 descargas que fueron evaluadas, se encuentran valores que exceden para el parámetro de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) los rangos establecidos por los LMP, los valores van desde los 249 hasta los 12,000 mg/L.
- De acuerdo con los resultados reportados por el laboratorio, se obtiene que de las descargas caracterizadas, 15 de las 16 exceden los LMP establecidos para dos parámetros: Nitrógeno y Fósforo total, con un rango de valores que comprende entre los 220-1327 y 31.9-1075 mg/L, respectivamente.

### 5.2.8 Contaminantes Básicos en los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales

Se efectuó la caracterización de la descarga de agua tratada efluente de las cuatro plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTARM) que a continuación se indican: Jalostotitlán, San Miguel El Alto, Tepatitlán de Morelos y por último la planta que recibe el agua que proviene del Rastro y Penitenciaría de Tepatitlán.

En tres de las plantas de tratamiento el proceso es de nivel secundario mediante filtro biológico, mientras que en la planta del rastro y penitenciaría de Tepatitlán el tratamiento es de nivel secundario mediante lodos activados.

Para evaluar el cumplimiento de la normatividad se comparan los resultados con respecto de los límites máximos permisibles para cuerpo receptor tipo “A” Promedio Diario de acuerdo a la clasificación de la LFDMA, ya que ninguna de las instalaciones de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales caracterizadas vierte a los tramos clasificados como cuerpo receptor tipo “B” en la zona de estudio. En el siguiente cuadro se presentan los resultados de calidad de agua reportados por el laboratorio.

**Tabla 5–18 Contaminantes Básicos en las Descargas de Agua Tratada de las PTAR Municipales, mg/l Excepto que se Indique Otra Unidad**

PTARM	Temp. (°C)	Conductividad (µmhos/cm)	pH @ 25°C	Sol. Sedimentables (mL/L)	SST	Grasas y Aceites	DBO <sub>5</sub>	DQO	N Total	P Total
Jalostotitlán	22.0	710	7.71	<0.1	18	5.1	28.0	56	12.9	5.0
San Miguel El Alto	23.5	909	6.80	<0.1	110	45.9	198.0	393	27.6	7.0
Tepatitlán de Morelos	22.0	592	6.92	<0.1	45	10.5	152.0	347	20.5	5.4
Rastro y Penitenciaría Tepatitlán	22.4	2430	7.48	9.5	480	74.8	606.0	1349	208.0	18.2

Al comparar los resultados con respecto de los LMP establecidos por la NOM-001 para cuerpo receptor tipo “A” Promedio Diario, se observa que dos instalaciones de las PTAR municipales: Jalostotitlán y Tepatitlán de Morelos satisfacen en su totalidad el marco normativo referenciado.

En lo que respecta a la PTARM de San Miguel El Alto, solamente en un parámetro no cumple con lo establecido en los límites máximos permisibles LMP para contaminantes básicos en las descargas, excediendo por alrededor de un 80% el LMP establecido para grasas y aceites, obteniendo un valor de 45.9 mg/L.

La PTARM que obtiene el rendimiento más deficiente de acuerdo a los resultados de análisis del laboratorio, es la del rastro y penitenciaría de Tepatitlán, excediendo muy por encima los LMP establecidos para cinco parámetros: sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, DBO<sub>5</sub> y nitrógeno total, con porcentajes que van desde el 140% hasta 375% superior a los LMP como lo es en el caso de los sólidos sedimentables.

### **5.2.9 Metales Pesados en los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales**

Los resultados de laboratorio del grupo de parámetros que la NOM-001 identifica como “metales pesados y cianuro” indican que los efluentes caracterizados de las tres plantas de tratamiento acreditan con holgura los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en la NOM-001 para cuerpo receptor tipo “A”, e incluso cumplen comparándolos con los valores de Promedio Mensual para un cuerpo

receptor clasificado como tipo “B”. En la siguiente tabla se presentan los resultados reportados por el laboratorio.

**Tabla 5–19 Metales Pesados y Cianuro en las Descargas de Agua Tratada de las PTAR Municipales, mg/L**

Descarga	Cn	As	Cd	Cu	Cr Total	Hg	Ni	Pb	Zn
PTARM Jalostotitlán	<0.01	<0.005	<0.050	<0.100	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050
PTARM San Miguel El Alto	<0.01	<0.005	<0.050	<0.100	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.084
PTARM Tepatitlán de Morelos	0.01	<0.005	<0.050	<0.100	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	<0.050

Los valores reportados de Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo total, Mercurio, Níquel y Plomo, fueron inferiores en las tres plantas de tratamiento al límite de detección del método de análisis utilizado.

**Cianuro**

El único valor que igualo el límite de detección que es de 10 µg/L, fue en la PTARM de Tepatitlán de Morelos. Esta concentración representa solamente el 1% del LMP para un cuerpo receptor tipo “B” Promedio Mensual.

**Zinc**

El valor reportado más elevado de la concentración de zinc, fue en la planta de tratamiento de San Miguel El Alto, llegando solamente a representar el 0.84% del LMP para un cuerpo receptor clasificado como tipo “B” Promedio Mensual.

**5.2.10 Metales Pesados en las Descargas de Agua Residual**

Se evaluó el grupo de parámetros regulados por la NOM-001-SEMARNAT-1996. La tabla número tres de la Norma señala límites máximos permisibles (LMP) para: Cianuros, Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc. En el caso de los ríos, la NOM-001 se establece LMP promedio mensual y promedio diario, para los tres niveles en que se pueden clasificar los ríos, cuerpo tipo “A”, “B” o “C”.

Los LMP de metales pesados y cianuros establecidos para los ríos clasificados como cuerpo receptor tipo “B” o “C” tienen el mismo valor, ver **Tabla 5–20**, a diferencia del esquema aplicado en los contaminantes básicos. El río Verde está clasificado como cuerpo receptor tipo “A” y “B”.

**Tabla 5–20 Límites Máximos Permisibles Fijados en la NOM-001 para Metales Pesados y Cianuros, mg/L**

Parámetros	Uso en Riego Agrícola (A)		Uso público Urbano (B)		Protección de Vida Acuática (C)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20

P. M. = Promedio Mensual, P.D. = Promedio Diario

Para evaluar las descargas caracterizadas, se comparan los resultados de laboratorio, ver **Tabla 5–21**, con respecto de los límites máximos permisibles Promedio Diario para cuerpo tipo “A”. Con dicho marco de referencia, ninguna de las descargas excede el LMP establecido para estos parámetros.

Incluso cumplen con holgura al comparar los resultados con respecto del valor Promedio Mensual fijado para el cuerpo receptor clasificado como tipo “B”, que es igual al de cuerpo tipo “C”, obteniendo solamente una descarga que excede el LMP en cuestión, en uno de los nueve parámetros normados. Dicha descarga pertenece a la industria de “Envases y Plásticos TITÁN” y el parámetro excedido es el de Mercurio (Hg).

**Tabla 5–21 Resultados de Metales Pesados y Cianuro en las Descargas de Agua Residual Caracterizadas, mg/L**

Nombre	Origen	Cn	As	Cd	Cu	Cr Total	Hg	Ni	Pb	Zn
Envases y Plásticos TITÁN	Industrial	0.06	<0.005	<0.050	<0.100	<0.250	0.0078	<0.100	<0.100	0.051
Parque Industrial Los Altos (AVIBEL)	Industrial	0.07	<0.005	<0.050	<0.100	<0.250	0.0022	<0.100	<0.100	0.098
Nestlé en Parque Industrial de Lagos de Moreno	Industrial	<0.01	<0.005	<0.050	<0.100	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.205
PTAR del Parque Industrial Lagos de Moreno	Industrial	0.04	0.003	<0.050	<0.100	<0.250	<0.0010	<0.100	<0.100	0.212
Granja porcícola a arroyo Los Ranchos	Pecuaria	N. A.	N. A.	N. A.	0.689	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	5.900
Granja porcícola en San José	Pecuaria	N. A.	N. A.	N. A.	3.200	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	3.530

## Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información

Nombre	Origen	Cn	As	Cd	Cu	Cr Total	Hg	Ni	Pb	Zn
Granja porcícola Texas	Pecuaria	N. A.	N. A.	N. A.	<0.100	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	0.246
Granja porcícola Sanfandila en Dieciocho de Marzo	Pecuaria	N. A.	N. A.	N. A.	0.800	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	0.804
Granja porcícola Sanfandila	Pecuaria	N. A.	N. A.	N. A.	0.614	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	1.130

N. A. = No aplica, no se evaluó.

En las descargas de agua residual en que se detectaron los valores más elevados de metales pesados y cianuro, se indican a continuación, haciendo hincapié en que ninguna está en la situación de exceder los LMP fijados en la NOM-001 para los ríos clasificados como cuerpo receptor tipo “A”.

### *Cianuro*

El valor más elevado fue de 0.07 mg/L (el 7% del LMP P. D. para un cuerpo receptor clasificado como tipo “C”) y se detectó en la descarga de agua residual de la industria “AVIBEL” ubicada en el Parque Industrial Los Altos del municipio de Tepatlán. El resto de los valores estuvo en el rango de <0.01 a 0.06 mg/L.

### *Arsénico*

El único valor que excedió el límite de detección del método de análisis utilizado fue de 0.003 mg/L, y que proviene de las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales del parque industrial localizado en el municipio de Lagos de Moreno (representando el 3% del LMP P. D. para cuerpo tipo “C”). El resto de los valores estuvo por debajo de la concentración de <0.005 mg/L.

### *Cadmio*

En todas las descargas la concentración obtenida de los resultados de análisis del laboratorio fue menor al límite de detección del método, que es de <50 µg/L.

### *Cobre*

El valor más elevado fue de 3.20 mg/L (el 80% del LMP P. D. para cuerpo tipo “B”) y se detectó en la descarga de agua residual de la granja porcícola en San José, Lagos de Moreno, además de otras tres instalaciones de granjas porcícolas que obtienen valores entre el rango de 0.614 a 0.800 mg/L y de las cinco descargas restantes que no exceden el límite de detección que es de <0.100 mg/L se encuentran en su totalidad las industriales y solamente una granja porcícola llamada “Texas”.

### *Cromo Total*

En la totalidad de las descargas caracterizadas que se realizaron únicamente a las de origen industrial, se tiene que ninguna excede el límite de detección del método de análisis, que es de <250 µg/L.

**Mercurio**

El valor más elevado fue de 0.0078 mg/L (excediendo en un 56% el LMP P. D. para cuerpo tipo “B”) y es detectado en la industria de “Envases y Plásticos TITÁN” seguida de la industria AVIBEL con un valor de 0.0022 mg/L, las otras dos descargas caracterizadas no exceden el límite de detección del método de análisis con un valor <0.0010 mg/L.

**Níquel**

De las cuatro descargas industriales evaluadas, ninguna excede el valor de <100 µg/L que corresponde al límite de detección del método utilizado en el análisis.

**Plomo**

En todas las descargas de origen industrial la concentración de plomo reportada fue menor al límite de detección del método de análisis utilizado, que es de <100 µg/L.

**Zinc**

El valor más elevado pertenece a la granja porcícola que descarga al arroyo Los Ranchos y es de una concentración de 5.900 mg/L ( es el 59% del LMP P. D. para un cuerpo receptor clasificado como tipo “B”) esto a pesar de que sus instalaciones cuentan un sistema de biodigestión anaeróbica, el valor que le sigue en orden descendente es el correspondiente a la granja porcícola ubicada en San José del municipio de Lagos de Moreno con una concentración de 3.530 mg/L, los valores restantes se encuentran en el rango de 0.051 a 1.130 mg/L.

**5.2.11 Toxicidad Aguda en las Descargas de Agua Residual**

La evaluación de la toxicidad aguda de las descargas de agua residual se efectuó en el laboratorio del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Las pruebas implementadas fueron de toxicidad aguda con el organismo *Vibrio fischeri* (Microtox), aplicando la metodología IMTA CAHB6-19, CAHB6-21 y con el organismo *Daphnia magna* aplicando la metodología IMTA CAHB6-04.

En los dos siguientes cuadros se presentan los resultados de toxicidad reportados por el IMTA con el organismo *Vibrio fischeri* y *Daphnia magna*, respectivamente.

**Tabla 5–22 Resultados de las Pruebas de Toxicidad Aguda con *Vibrio fischeri***

Descarga	CE <sub>50</sub> (%)	Unidades de Toxicidad Aguda (UT)
Envases y Plásticos TITÁN	4.98	20.09
Parque Industrial Los Altos (AVIBEL)	2.49	40.24
PTARM Jalostotitlán	TND	---
Descarga porcícola El Mayoral	0.45	222.72
Granja porcícola Los Planes	0.67	150.38
PTARM San Miguel El Alto	4.44	22.53

## Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información

Descarga	CE <sub>50</sub> (%)	Unidades de Toxicidad Aguda (UT)
PTARM Tepatitlán de Morelos	9.99	10.01
Granja porcícola No.2 en La Cofradia	0.93	107.30
Granja porcícola No.1 en La Cofradia	1.21	82.85
Granja porcícola GENA La Estancia #4	TND	---
Granja porcícola No.1 aguas arriba de La Jara Santa Rosa	1.23	81.63
Granja porcícola No.2 aguas arriba de La Jara Santa Rosa	1.27	79.05
Granja porcícola No.3 aguas arriba de La Jara Santa Rosa	3.77	26.55
Granja porcícola No.2 en San José del Potrero	2.30	43.52
Granja porcícola No.1 en San José del Potrero	4.25	23.54
Granja porcícola Sanfandila en San Luis Gonzaga	0.88	113.51
Granja porcícola a arroyo Los Ranchos	2.59	38.55
Granja porcícola en San José	1.08	92.85
Granja porcícola Texas	Toxicidad > 100% <sup>a)</sup>	Presencia Toxicidad
Granja porcícola Sanfandila en Dieciocho de Marzo	0.77	129.87
Granja porcícola Sanfandila	1.38	72.57

TND = Toxicidad No Detectada

a) El efecto que produce la muestra al 100% es 41.1098 (CE<sub>41.1098</sub> = 100%)

**Tabla 5–23 Resultados de las Pruebas de Toxicidad Aguda con *Daphnia magna***

Descarga	CE <sub>50</sub> (%)	Unidades de Toxicidad Aguda (UT)
Envases y Plásticos TITÁN	TND	---
Parque Industrial Los Altos (AVIBEL)	TND	---
PTARM Jalostotitlán	TND	---
Descarga porcícola El Mayoral	6.05	16.53
Granja porcícola Los Planes	3.08	32.47
PTARM San Miguel El Alto	74.97	1.33
PTARM Tepatitlán de Morelos	71.20	1.40

TND = Toxicidad No Detectada

El marco de referencia utilizado para evaluar los resultados de las pruebas de toxicidad se presenta en la **Tabla 5–24**

**Tabla 5–24 Escala de Toxicidad Aguda Aplicable a Aguas Residuales (Institute for Inland Water Management & Waste Water Treatment of Nederland)<sup>5</sup>**

Clasificación	CE50 %	UT	No. de muestras <i>Vibrio fischeri</i>	No. de muestras <i>Daphnia magna</i>
Toxicidad aguda elevada	≤ 0.99	> 100	5	0
Toxicidad aguda significativa	10 – 1.0	10 – 100	13	2
Toxicidad aguda moderada	51 – 10.1	2 – 10	0	0
Toxicidad aguda despreciable	99 - 52	1 - 2	0	2
Sin Toxicidad aguda	> 99.99	< 1	2	3
Presencia de toxicidad	No se puede calcular	No se puede calcular	1	0

A continuación se comentan los resultados de las pruebas de toxicidad con base en la clasificación resultante de las Unidades de Toxicidad Aguda (UT) reportadas.

### ***Toxicidad Elevada***

De las 28 pruebas efectuadas se reporta que cinco muestras tienen un valor mayor a cien Unidades de Toxicidad Aguda (UT), por lo que de acuerdo al marco de referencia se clasifican con una toxicidad aguda elevada. Las muestras corresponden en su totalidad a las siguientes granjas porcícolas mencionadas en orden descendente a su toxicidad: granja porcícola El Mayoral, Los Planes, Sanfandila en Dieciocho de Marzo, Sanfandila en San Luis Gonzaga y la granja porcícola No.2 en La Cofradía, la ubicación de las dos primeras granjas es en el municipio de Jalostotitlán, la tercera se encuentra en Acatic y las dos últimas están en Lagos de Moreno.

### ***Toxicidad Significativa***

En quince de las muestras caracterizadas se obtiene que las unidades de toxicidad están en el rango de 10 a 100 UT, condición que les confiere el grado de toxicidad aguda significativa. De las quince pruebas implementadas, trece se realizaron con el organismo *Vibrio fischeri* y dos a través del organismo *Daphnia magna*.

De las trece pruebas realizadas con el organismo *Vibrio fischeri*, los seis valores más altos pertenecen a las siguientes granjas porcícolas en orden descendente: granja porcícola en San José, granja No.1 en La Cofradía, granjas No.1 y 2 ubicadas aguas arriba del poblado de La Jara Santa Rosa, granja Sanfandila y granja No.2 localizada en San José del Potrero; la primer granja, quinta y sexta están en Lagos de Moreno, la tercer y cuarta granja pertenecen al municipio de San Juan de los Lagos, en donde ambos municipios pertenecen a la cuenca del río Lagos, y por último la granja No.1 en La Cofradía que se encuentra está localizada en el municipio de Acatic, cuenca del río Tepatitlán.

Siguiendo el orden descendente de toxicidad, se ubica en la séptima posición la industria AVIBEL seguida por tres granjas porcícolas: granja que descarga al arroyo Los Ranchos, granja No.3 aguas arriba de la localidad de La Jara de Santa Rosa y granja No.1 en San José del Potrero, la primer y tercer granjas se localizan en el municipio de Lagos de Moreno y la restante en San Juan de los Lagos.

En los valores restantes se encuentran los efluentes de las instalaciones de la PTARM de San Miguel El Alto, Envases y Plásticos TITÁN y con la menor toxicidad aguda significativa registrada está la PTARM de Tepatitlán de Morelos, en los casos de las PTARM la toxicidad detectada puede haber sido causada por el cloro residual libre presente en el efluente tratado, debido a que no se notifico al IMTA que removiera el cloro residual de las muestras recolectadas antes de iniciar las pruebas. El cloro residual está reconocido como un agente de fuerte toxicidad en los efluentes de las plantas de tratamiento.

De las dos granjas porcícolas evaluadas con el organismo de *Daphnia magna*, la que obtiene mayor grado de toxicidad es la porcícola Los Planes.

### **Toxicidad moderada**

En este rango de clasificación de toxicidad aguda moderada que se encuentra entre los valores de 2 a 10 unidades de toxicidad (UT), de acuerdo a los resultados obtenidos ninguna de las descargas caracterizadas con los organismos de *Vibrio fischeri* y *Daphnia magna* aplican para esta condición.

### **Toxicidad Despreciable**

Esta condición aplica en dos de las descargas evaluadas con el organismo *Daphnia magna*, y no así para las evaluadas con *Vibrio fischeri*, con un rango de valores de 1 a 2 UT. Las descargas en cuestión son los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de los municipios de Tepatitlán de Morelos y San Miguel El Alto con un valor de 1.40 y 1.33 unidades de toxicidad (UT), respectivamente.

La presencia de toxicidad en los efluentes de la PTARM puede deberse al cloro residual libre, además del cloro amoniacal y las sustancias activas al azul de metileno (SAAM), que se encuentran reconocidas como agentes de fuerte toxicidad en dichos efluentes.

### **Toxicidad no Detectada**

Las descargas de agua residual en las que el reporte del IMTA indica ausencia de toxicidad o Toxicidad No Detectada (TND) son las siguientes: PTARM de Jalostotitlán, la granja porcícola GENA La Estancia #4, Envases y Plásticos TITÁN y la industria AVIBEL; en donde la primera y segunda descarga corresponden a las pruebas evaluadas con el organismo *Vibrio fischeri* y las dos restantes junto con la primer descarga al organismo de *Daphnia magna*.

### **Presencia de Toxicidad**

Solamente en una descarga caracterizada con el organismo *Vibrio fischeri*, se encuentra en el caso de que la muestra con la concentración al 100% afecta a un número menor que al 50% de los organismos, por lo que no se puede calcular el  $CE_{50}$  y por lo tanto tampoco se pueden calcular las unidades de toxicidad. Reportándose en este caso “presencia” de toxicidad en el efluente del biodigestor anaerobio que corresponde a la granja porcícola Texas, ubicada en Lagos de Moreno.

### 5.3 COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE ESTE TRABAJO CON LOS ANTERIORES (2002-2003)

Las siguientes tablas muestran las fechas y los caudales para las estaciones de monitoreo del Río Verde. Para el periodo 2002-2003 se realizaron cinco campañas de aforo y muestreo. Para el presente estudio se realizó una.

**Tabla 5–25 Fechas de Estaciones de Monitoreo para el Periodo 2002-2003**

Estaciones de Monitoreo	FECHA				
	Primera Campaña	Segunda Campaña	Tercera Campaña	Cuarta Campaña	Quinta Campaña
Estación de monitoreo en Purgatorio	07-Nov-02	05-Dic-02	16-Ene-03	28-Feb-03	18-Mar-03
Estación de monitoreo aguas arriba Río Tepatitlán	06-Nov-02	02-Dic-02	13-Ene-03	26-Feb-03	21-Mar-03
Estación de monitoreo en La Cuña	05-Nov-02	03-Dic-02	14-Ene-03	27-Feb-03	20-Mar-03
P el Zapotillo					
Estación de monitoreo en Puente Temacapulin	05-Nov-02	02-Dic-02	13-Ene-03	26-Feb-03	21-Mar-03
Estación de monitoreo en Apánico	04-Nov-02	02-Dic-02	13-Ene-03	26-Feb-03	21-Mar-03
Belén del Refugio					

**Tabla 5–26 Caudales de Estaciones de Monitoreo para el Periodo 2002-2003**

Estaciones de Monitoreo	Q (m <sup>3</sup> /s)				
	Primera Campaña	Segunda Campaña	Tercera Campaña	Cuarta Campaña	Quinta Campaña
Estación de monitoreo en Purgatorio	10.6	4.93	3.31	2.14	2.06
Estación de monitoreo aguas arriba Río Tepatitlán	NA	NA	NA	2.04	1.63
Estación de monitoreo en La Cuña	10.26	NA	3.33	2.83	2.57
P el Zapotillo					
Estación de monitoreo en Puente Temacapulin	9.78	2.02	1.86	1.02	0.47

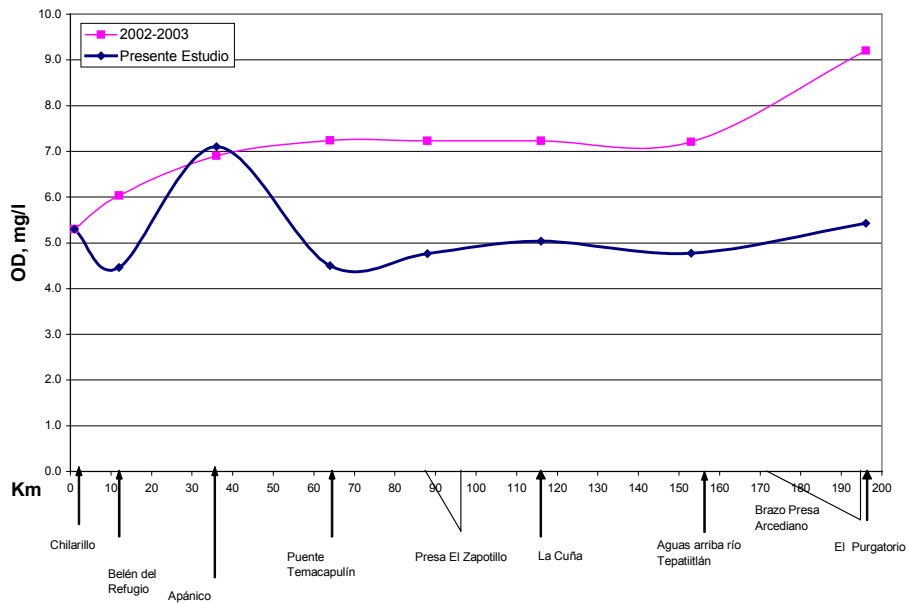
Estaciones de Monitoreo	Q (m <sup>3</sup> /s)				
	Primera Campaña	Segunda Campaña	Tercera Campaña	Cuarta Campaña	Quinta Campaña
Estación de monitoreo en Apánico	NA	1.36	1.78	0.59	0.34
Belén del Refugio					

**Tabla 5–27 Caudales de Estaciones de Monitoreo para el PRESENTE ESTUDIO**

Estaciones de Monitoreo	Caudal, m <sup>3</sup> /s
Estación de monitoreo en Purgatorio	7.754
Estación de monitoreo aguas arriba Río Tepatitlán	---
Estación de monitoreo en La Cuña	5.507
Presa El Zapotillo	---
Estación de monitoreo en Puente Temacapulin	3.243
Estación de monitoreo en Apánico	2.401
Belén del Refugio	1.56

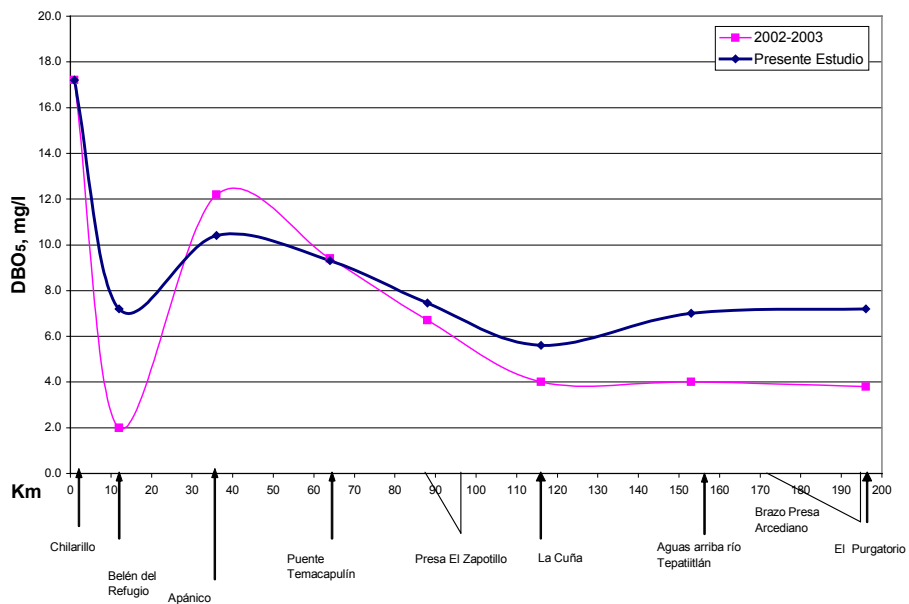
Las siguientes figuras muestran las gráficas de la comparación de los diferentes parámetros de calidad del agua de este trabajo con los realizados entre los años 2002 y 2003 para el período de estiaje.

Figura 5-9 Comparación de Oxígeno disuelto 2002-2003 con el presente estudio



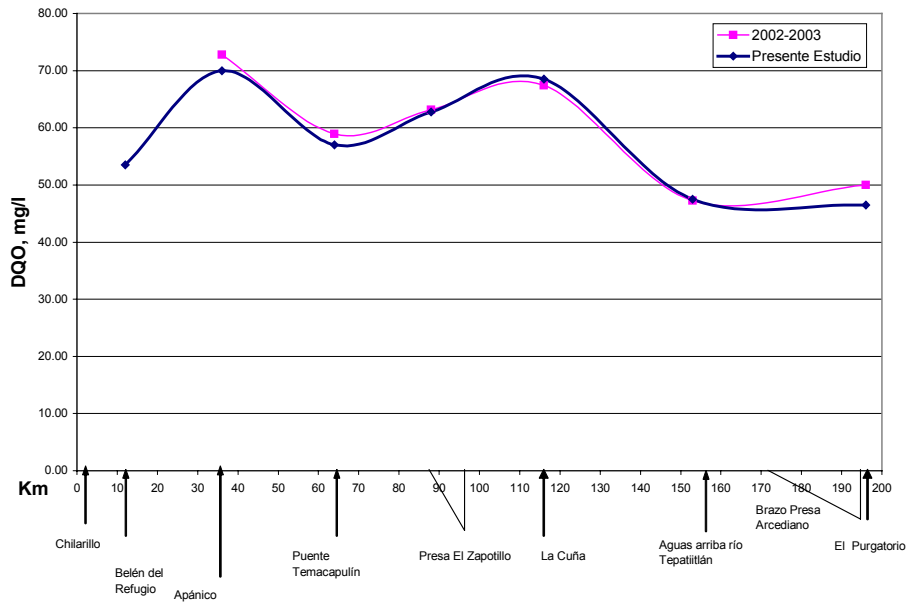
**Oxígeno Disuelto.** En la **Figura 5-9** se observa que, mientras los valores del oxígeno disuelto para el periodo 2002-2003 oscilan entre 5.3 y 9.2 mg/l, para el presente estudio oscilan entre 4.5 y 7.1 mg/l. Esto representa un decremento en los niveles de oxígeno disuelto significativo, a excepción de la estación de monitoreo en Apánico.

Figura 5-10 Comparación de Demanda Bioquímica de Oxígeno 2002-2003 con el presente estudio



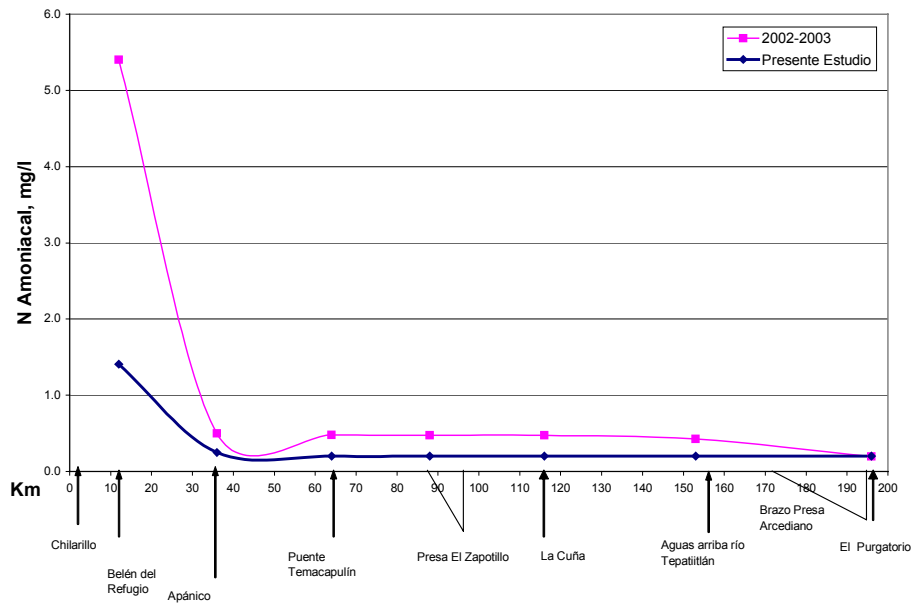
**Demanda Bioquímica de Oxígeno.** Si se observa la **Figura 5-10**, la Demanda Bioquímica de Oxígeno presenta un incremento en Belén del Refugio del 70% y a partir del Puente Temacapulín hasta El Purgatorio se observa un incremento significativo creciente.

**Figura 5-11 Comparación de Demanda Química de Oxígeno 2002-2003 con el presente estudio**



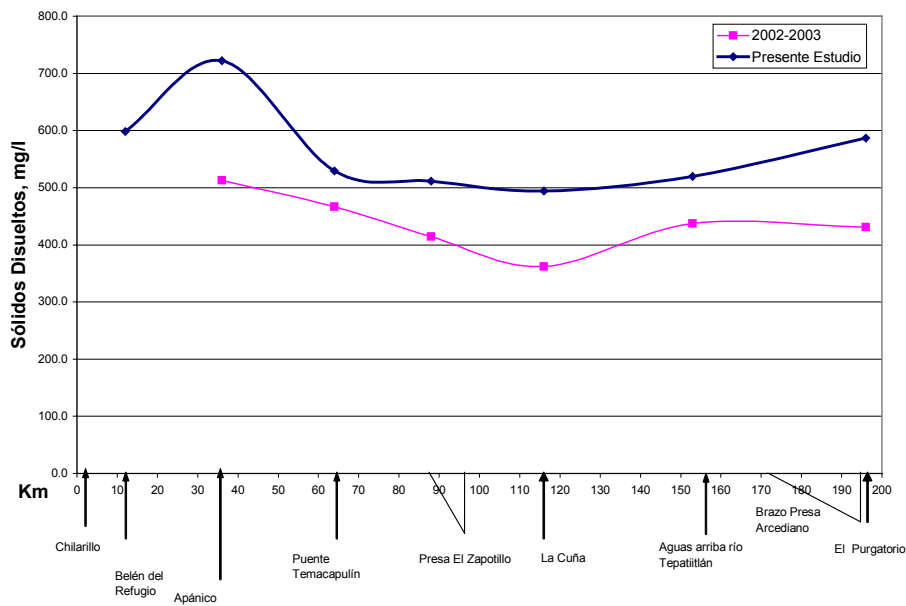
**Demanda Química de Oxígeno.** En este caso la Demanda Química de Oxígeno no se presenta diferencia significativa entre el periodo 2002-2003 y el presente estudio. Ver **Figura 5-11**.

Figura 5–12 Comparación de Nitrógeno Amoniacal 2002-2003 con el presente estudio



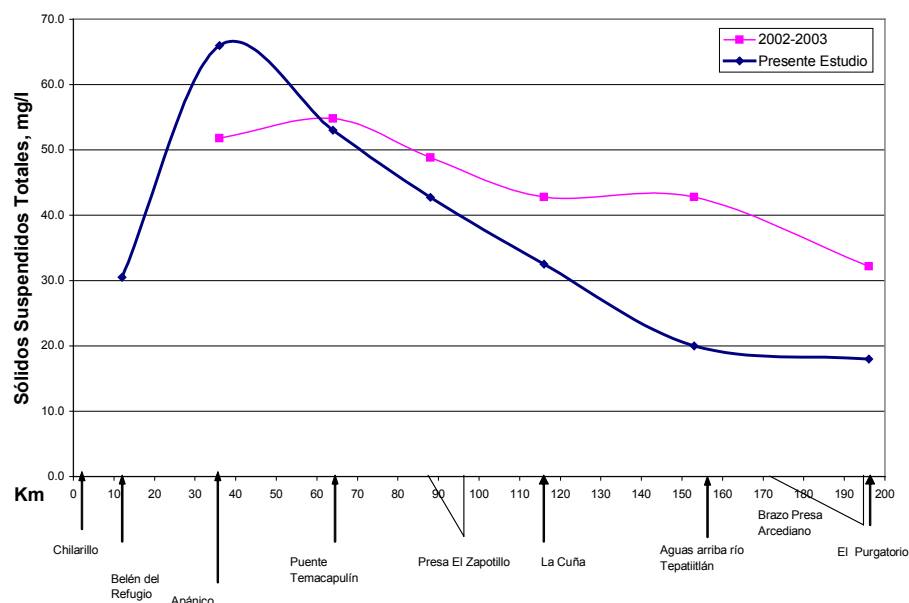
**Nitrógeno Amoniacal.** En el caso del Nitrógeno amoniacal, en Belén del Refugio se observa un decremento considerable de cerca del 80% del valor de 2002-2003; y a lo largo del tramo de Puente Temacapulín a El Purgatorio no se observa notable diferencia, como se puede apreciar en la **Figura 5-12**.

Figura 5–13 Comparación de Sólidos Disueltos 2002-2003 con el presente estudio



**Sólidos Disueltos Totales.** En el caso de los Sólidos Disueltos, como se observa en la **Figura 5-13**, los valores del periodo 2002-2003 oscilan de 362 a 513 mg/l, mientras que para el presente estudio encontramos valores desde 494 a 722 mg/l. Esto refleja un incremento promedio en los Sólidos Disueltos de 30%.

**Figura 5-14 Comparación de Sólidos Suspendidos Totales 2002-2003 con el presente estudio**



**Sólidos Suspendidos Totales.** Para el caso de los Sólidos Suspendidos Totales, en la **Figura 5-14** se muestra que hubo un decremento en estos cuatro años. Especialmente desde Puente Temacapulín hasta El Purgatorio.

Como se puede observar, en la mayoría de los parámetros expuestos anteriormente, se ve un deterioro del río a lo largo de su cauce.

#### 5.4 CALIDAD DEL AGUA A LO LARGO DEL RÍO VERDE

La calidad del agua del río Verde a lo largo de su trayecto en el estado de Jalisco ha sido comentada en la sección 5-2. En la presente sección se relacionará con los aportaciones de contaminantes, para lo cual se ha preparado la Tabla 5-28 en la que se han empleado los valores de caudales aforados en cada corriente tributaria, los resultados analíticos de los principales parámetros de contaminación de agua y los puntos de vertimiento. También han sido adicionados los datos del río Lagos incluidos en el presente estudio.

##### *Cuenca del río Verde*

En la parte alta de la cuenca del río Verde, dentro del estado de Jalisco y objeto de este estudio, se nota un deterioro en el punto Belén del Refugio en función de un alta concentración de materia orgánica, bajo oxígeno disuelto y alta concentración de nitrógeno amoniacal. El caudal medido es moderadamente alto, cercano a 1.5 m<sup>3</sup>/s. Dado que esta estación de muestreo está cerca del límite del estado de Jalisco y Aguascalientes y que aguas arriba de esta estación, dentro del estado de Jalisco no recibe alguna aportación importante ya sea de afluente o fuente de contaminación. Posiblemente esta baja calidad esté asociada con las características de calidad que salen de la presa el Niágara.

En seguida recibe dos corrientes por la margen izquierda, Río Chico y Río Agostadero, ambos de bajo caudal y, en general de calidad del agua buena.

En seguida por la margen derecha recibe las aguas del río Teocalticne, en cuya cuenca se encuentran las poblaciones Villa Hidalgo, Mechoacanejo y Teocaltiche. El caudal es moderado 112 l/s en las fechas del trabajo de campo. La calidad de esta corriente es severamente contaminada en lo referente a materia orgánica, nitrógeno y fósforo total. En lo que se refiere a cargas de contaminantes en el tramo de estudio, representa la número 3, después de los ríos Lagos y Tepatitlán.

Pocos kilómetros aguas abajo, por la margen izquierda confluye en río Lagos, con características contaminadas en lo referente a materia orgánica. No obstante la depuración que la calidad del agua presenta a lo largo del río Lagos, por las presas y caídas de agua, la aportación de materia orgánica y nutrientes es significativa y ciertamente impacta la calidad de agua del río Verde, como se observa en la estación Río Verde en San Nicolás de las Flores. En donde se observa un descenso en oxígeno disuelto y un aumento en materia orgánica (DBO<sub>5</sub> y DQO). Es sin duda este río, el río Lagos, la principal fuente de contaminación en la parte alta de la cuenca del río Verde en el tramo estudiado.

Tabla 5–28 Cargas diarias de contaminantes por tributarios evaluados, en kg/día

Nombre	Punto de vertimiento	Caudal l/s	Carga SST kg/día	Carga GyA kg/día	Carga DBO <sub>5</sub> kg/día	Carga DQO kg/día	Carga N Total kg/día	Carga P Total kg/día
Río Chico en Villa de Ornelas	Afluente río Verde, MI Alta	10	18.1	9.6	2.2	NC	1.0	0.8
Río Agostadero en Halconero de Abajo	Afluente río Verde, MI Alta	43	40.9	52.8	8.9	NC	2.6	0.4
Río Teocaltiche frente a Mendocina	Afluente río Verde, MD Alta	112	319.3	127.7	293.2	1045.1	249.7	59.6
Río Cuarenta a un costado de las granjas Zorrillos (Río Lagos)	Río Lagos parte alta	20	53.6	NC	9.8	84.7	9.5	12.7
Río Lagos aguas arriba de Lagos de Moreno, en cruce con libramiento	Río Lagos parte alta	46.9	117.5	51.9	142.6	490.3	59.2	29.2
Río Lagos en el Salto Zurita	Río Lagos parte alta	1800	6065.3	1337.5	3825.8	17107.2	2690.5	852.2
Río Lagos aguas debajo de Presa Alcalá	Afluente río Verde, MI parte alta	223	616.6	219.6	169.6	NC	39.5	57.8
Arroyo San José en El Ixtle	Afluente río Lagos, MD aguas debajo de Lagos	7.9	50.5	48.1	109.2	725.6	149.5	32.3
Río Jalpilla aguas arriba de Tlacuitapan	Afluente río Lagos, MI cerca Tlacuitapan	48	66.4	45.6	13.7	186.6	1.2	17.8
Arroyo La Jara	Afluente río Lagos, MI aguas abajo San Juan de los Lagos	0.04	0.2	0.1	1.9	3.5	0.2	0.1
Arroyo Barroso aguas arriba del río San Juan de los Lagos	Afluente río Lagos, MD aguas abajo San Juan de los Lagos	13.4	23.2	24.3	125.0	720.1	324.2	5.4
Río Lagos en San Gaspar	Afluente río Lagos, MI parte alta	372	417.8		321.4	3085		
Río Jalostotitlán en Hacienda Vieja	Afluente Río Verde, MI parte media	36	93.3	40.4	10.3	NC	3.4	15.8

## Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información

Nombre	Punto de vertimiento	Caudal l/s	Carga SST kg/día	Carga GyA kg/día	Carga DBO <sub>5</sub> kg/día	Carga DQO kg/día	Carga N Total kg/día	Carga P Total kg/día
Río San Miguel, en puente de Santa María de la O	Afluente Río Verde, MI parte media	62	444.6	78.7	113.0	428.5	33.6	22.4
Río Ipalco, en Ipalco de Enmedio	Afluente río Verde, MD parte media	112	48.4	96.8	NC	NC	6.2	23.4
Río Valle en Valle de Guadalupe	Afluente río Verde, MI parte media	20	38.0	24.2	38.5	171.1	9.1	2.2
Río Tepatitlán aguas debajo de Presa Lagunillas	Río Tapa antes de confluencia.	12.7	9.9	11.7	3.0	NC	1.8	NC
Río Tepatitlán en El Salto	Afluente río Verde, MI parte baja	257.4	511.5	242.4	542.6	1734.7	822.9	85.2
Arroyo Saltillo aguas debajo de La Cofradía	Afluente río Tapa, MD cerca Acatic	69.6	2645.9	201.5	944.1	14540.5	409.5	73.4
Arroyo Las Viboras aguas arriba de La Troja	Afluente río Tapa, MI cerca Acatic	157.6	190.6	114.4	158.0	612.7	114.4	36.8
Arroyo Las Viboras aguas arriba del río Tepatitlán	Afluente río Tapa, MI, cerca Acatic	153.5	278.5	124.7	198.9	702.9	177.7	42.4

\*Valores no aforados, pero considerados para el presente cálculo

NC = No calculados porque el resultado analítico fue menor que el límite de detección

Enseguida por la margen derecha recibe el río Ipalco que procede de Mexxicacán y por la margen izquierda los ríos Jalostotitlán y San Miguel, procedentes respectivamente de los municipios del mismo nombre. La carga de materia orgánica del río San Miguel, en 113 kg./día es superior a la del río Jalostotitlán.

Entre las estaciones San Nicolás (RV-5) y Temacapulín (RV-4) se observa un significativo descenso de oxígeno disuelto (de 7.1 a 4.5 mg/l). La razón principal de este descenso son las aportaciones de materia orgánica de los afluentes. Entre éstos, la mayor cantidad la aporta el río Lagos, y enseguida el río Teocaltiche.

Entre las estaciones Temacapulín (RV-4) y la Cuña (RV-3), el río experimenta una ligera mejoría en la calidad manifestada tanto en oxígeno disuelto, como en materia orgánica biodegradable. Esto debido a que la depuración del río es superior a las aportaciones de los afluentes en este tramo, que son río Colorado (de Yahualica) y Río el Valle. En este último se encuentra la presa el Salto, la cual es otro elemento de depuración de la calidad del agua.

En la parte baja de la cuenca se encuentra el río Tepatitlán, que procede de la población de este nombre y también cruza por Acatic. Por su calidad, por su caudal y también por la carga de contaminantes, el río Tepatitlán es una fuente significativa de contaminación al río Verde, no obstante que en la presa Lagunillas sufre una considerable depuración. La concentración de oxígeno disuelto se mantuvo entre la estación la Cuña (RV-3), Aguas arriba de río Tepatitlán (RV-2) y Purgatorio (RV-1) en valores entre 4.8 y 5.4 mg/l que son más bien indicadores de contaminación. Como se comenta en la sección precedente de este documento, entre los estudios de los años 2002-2003 y el presente, se nota un marcado deterioro en la calidad del río Verde en este tramo, lo cual está asociado con el desarrollo urbano, pecuario e industrial que la zona de Tepatitlán y Acatic han experimentado en los últimos años.

Aguas abajo de la confluencia del río Tepatitlán no existe alguna aportación de consideración al río Verde.

### ***Subcuenca Río Lagos***

En esta subcuenca se establecieron cinco estaciones sobre el río Lagos (río Cuarenta, aguas arriba de Lagos en el libramiento, en Salto de Zurita, aguas abajo de presa de Alcalá y en San Gaspar) y otras 4 en afluentes (Arroyo San José en el Ixtle, río Jalpilla, arroyo la Jara y arroyo Barroso).

La infraestructura hidráulica en la cuenca del río Lagos (presa el Cuarenta y presa Alcalá) y las derivaciones para riego agrícola de estas dos presas contribuyen favorablemente a la calidad de la agua en este río y consecuentemente a aminorar el impacto de las descargas industriales, urbanas y pecuarias en la calidad de agua del río Verde. No obstante ello, es una aportación cuyo impacto es negativo para la calidad del río Verde.

A lo largo de su recorrido el río Lagos presenta lo siguiente:

- a) Buena calidad en la parte alta, en parte por el impacto de la presa el Cuarenta y porque no ha recibido las descargas.
- b) Deterioro significativo entre en las estaciones cercanas a Lagos de Moreno y en el Salto de Zurita. En este último tramo se le considera severamente contaminado, y bajo el severo impacto de las descargas industriales, pecuarias y urbanas de Lagos de Moreno.
- c) En la estación Aguas Abajo de la presa Alcalá, manifiesta una importante mejoría, tanto en materia orgánica como en nitrógeno total.
- d) En la zona de San Juan de los Lagos recibe importantes descargas municipales y pecuarias, estas últimas a través de los arroyos las Jaras y arroyo Barroso. Este último, no obstante su bajo caudal (13.4 l/s), aporta cargas importantes de materia orgánica y nutrientes. Este arroyo conduce aguas residuales de origen predominantemente pecuario y constituye un foco de atención para los esfuerzos de saneamiento.
- e) En el tramo final antes de su confluencia al río Verde, en la estación San Gaspar (RL-1), el río Lagos tiene características de contaminado en materia orgánica y su contribución como carga orgánica y de nutrientes es significativa.

### ***Subcuenca Río Tepatitlán***

Para motivos de evaluación de calidad del agua, podemos considerar que el río Tepatitlán procede de los municipios de Tepatitlán, en su parte alta y de Acatic, en la parte baja en su confluencia al río Verde. La infraestructura hidráulica más importante son las presas el Jihuite y Lagunillas. La primera situada aguas arriba de Tepatitlán y se usa para abastecimiento de esta población, y la segunda en el municipio de Acatic y su función es para riego agrícola.

La calidad del agua en el río Tepatitlán experimenta una significativa mejoría en la presa Lagunillas, de la cual sale con condiciones aceptables en DBO y ligeramente contaminada en nitrógeno total. Sin embargo después de recibir las descargas urbanas y pecuarias de Acatic, se convierte en una corriente severamente contaminada en materia orgánica y también en nutrientes.

La aportación de las cargas orgánicas y de nutrientes por el río Tepatitlán en el Salto, son muy elevadas y deterioran la calidad del río Verde. El impacto de esta corriente en el río Verde se hace evidente al mantener un bajo oxígeno disuelto entre el vertimiento del río Tepatitlán con 4.8 mg/l y Purgatorio con 5.4 mg/l.

Este impacto y los demás se evalúan en forma sistemática en la modelación de la calidad del agua que se presenta en la siguiente sección de este documento.

## 5.5 MODELO DE CALIDAD DEL AGUA QUAL2K DEL RÍO VERDE

Los modelos matemáticos de calidad del agua son una herramienta para estimar la respuesta de los cuerpos de agua ante diferentes condiciones hidrológicas, diferentes escenarios de tratamiento de agua fluviales, y de manejo de fuentes difusas. Para este trabajo se empleó el modelo en su versión QUAL2K (EPA, 2006)<sup>1</sup> desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US Environmental Protection Agency), que ha sido ampliamente utilizado en nuestro país por la autoridad hidráulica federal.

El empleo del modelo matemático se hace en tres etapas:

- a) Preparación del modelo a las condiciones hidrológicas y de infraestructura hidráulica del tramo seleccionado.
- b) Calibración del modelo a las condiciones de estiaje, que son las condiciones de calidad más desfavorables, para lo cual se seleccionan los valores de los parámetros dinámicos y cinéticos del modelo.
- c) Uso del modelo calibrado para estimar la respuesta de calidad de agua del tramo del río ante diferentes escenarios de manejo.

Este capítulo inicia con la descripción de la estructura del modelo y su preparación a las condiciones del tramo de los ríos Santiago y Verde, posteriormente se presentan los resultados de la calibración del período de estiaje y lluvias. Los parámetros de calidad del agua simulados son los siguientes: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), ciclo del nitrógeno, ciclo del fósforo y coliformes fecales.

Para evaluar la calidad del agua ante diferentes alternativas de manejo se llevó a cabo una serie de simulaciones tanto para período de estiaje como de lluvias, en el tramo de los ríos Santiago y Verde.

Con base en la información hidrométrica procesada y obtenida de la CNA y de la CFE, y las concentraciones resultantes del río, derivada de los trabajos de campo en el mismo.

Se preparó un balance de la concentración y masa de los principales contaminantes vertidos a los ríos Santiago y Verde con información hidrométrica procesada y obtenida de la CNA, CFE y trabajos de campo del estudio previo<sup>2</sup>

### 5.5.1 Descripción del Modelo QUAL2K

#### *Descripción General*

La modelación de los diferentes parámetros de calidad del agua se llevó a cabo con el modelo matemático del programa QUAL2K<sup>1</sup>. El QUAL2K es un modelo versátil de calidad de corrientes de agua.

El modelo es aplicable a la corriente motivo del presente estudio, asume que la corriente está bien mezclada en sentido vertical y en la sección de la corriente, y que los principales mecanismos de transporte, advección y dispersión de materiales, son significativos solamente en la dirección principal del flujo, es decir longitudinal del canal o corriente. Permite la entrada de descargas de agua, múltiples aprovechamientos, flujos tributarios e incrementos o decrementos de flujo. También tiene la capacidad de calcular los flujos de dilución necesarios para cumplir con un nivel determinado de oxígeno disuelto.

### *Consideraciones Generales del Modelo*

Para resolver las ecuaciones de transporte de masa y reacción el programa utiliza la solución de diferencia-finita. Es decir que divide al río en un número específico de elementos computacionales y para cada elemento realiza: un balance hidrológico en términos del flujo; un balance de energía en términos de temperatura; y un balance de materia en términos de la concentración de los parámetros relevantes (DBO, nitrógeno, fósforo y coniformes fecales).

Hidráulicamente, el modelo está limitado a la simulación de periodos de tiempo durante los cuales tanto el flujo de la corriente como las descargas de contaminantes son constantes.

El modelo puede operar en estado estacionario o en estado dinámico. Cuando se opera en estado estacionario, puede ser usado para estudiar el impacto de descargas de agua (magnitud, calidad y ubicación) en la calidad del agua de la corriente; y también puede ser usado junto con un programa de muestreo para identificar la magnitud y características de descargas no puntuales. Operando el modelo dinámicamente, se pueden estudiar los efectos de variaciones diurnas de los datos meteorológicos en la calidad del agua (principalmente oxígeno disuelto y temperatura), también puede estudiar las variaciones diurnas de oxígeno disuelto debidas al crecimiento y respiración de las algas.

El programa puede simular hasta 15 parámetros de calidad del agua, en cualquier combinación que el Estudio requiera.

- Temperatura (T)
- Oxígeno Disuelto (OD)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)
- Nitrógeno Orgánico (N-Org)
- Nitrógeno Amoniacal (N-NH<sub>3</sub>)
- Nitrógeno como Nitritos (N-NO<sub>2</sub>)
- Nitrógeno como Nitratos (N-NO<sub>3</sub>)
- Fósforo Orgánico (P-Org)
- Fósforo Disuelto (P-Dis)
- Coliformes (Cl)
- Algas como Clorofila a (A)

El primer paso para realizar la modelación es dividir la sección de la corriente en estudio en segmentos, los cuales deben tener características hidráulicas uniformes. Cada segmento se subdivide en elementos computacionales de igual longitud, pero cada segmento puede tener diferente número de elementos computacionales; esto permite al usuario ingresar descargas y aprovechamientos en cualquier elemento del segmento. Para definir un segmento lo más importante es determinar qué constituye un cambio significativo en cuanto a los resultados de la simulación.

El modelo tiene siete tipos de elementos computacionales los cuales describen ciertas características del río en ese sub-segmento:

1. Suministro de agua
2. Elemento estándar
3. Elemento justo aguas arriba de una unión

4. Elemento unión
5. Último elemento del sistema
6. Descarga
7. Aprovechamiento

Los elementos de suministro de agua dan inicio a cada tributario así como al sistema principal del río. Un elemento estándar es aquél que no califica como ninguno de los otros, debido a que se permite incremento de flujo en todos los tipos de elemento, la única entrada permitida en un elemento estándar es el incremento de flujo. Un elemento del tipo 3 es el que está ubicado en el sistema principal justo aguas arriba de una unión. Un elemento de unión simula la entrada de un tributario al sistema principal.

El elemento tipo 5 identifica el último elemento computacional del sistema; solamente existe un solo elemento del tipo 5. Los elementos de los tipos 6 y 7 representan entradas (descargas hidráulicas y tributarios) y aprovechamientos (extracciones), respectivamente. La información hidráulica, los coeficientes de reacción, las condiciones iniciales y los incrementos de flujo son constantes para todos los elementos computacionales de un segmento.

Debido a que se pueden especificar coeficientes biológicos e hidráulicos en cada segmento la manera en que un sistema es dividido puede afectar apreciablemente los resultados finales de la simulación. Se pueden establecer nuevos segmentos debido a cambios en velocidad, profundidad o dispersión. La presencia de tributarios o descargas también puede hacer que se deban definir nuevos segmentos. Una variación espacial de la demanda de oxígeno del sedimento o de los parámetros de fotosíntesis/respiración también puede influenciar también la segmentación.

### ***Reacciones e Interrelaciones entre los Elementos***

Una de las consideraciones más importantes para determinar la capacidad asimilativa de contaminantes de un río es su habilidad para mantener una concentración adecuada de oxígeno disuelto. La concentración de oxígeno disuelto está controlada por: la reaeración atmosférica, fotosíntesis, respiración animal, respiración vegetal, demanda del bentos, demanda bioquímica de oxígeno, nitrificación, sólidos disueltos y temperatura, entre otros.

El modelo QUAL2K incluye las principales interacciones de los ciclos de nutrientes, producción de algas, demanda de oxígeno del bentos, demanda carbonosa de oxígeno, aireación atmosférica y sus efectos en la concentración de oxígeno disuelto.

Los coliformes y los elementos arbitrarios no conservativos se simulan como elementos no conservativos que no interactúan con otros elementos. Los conservativos naturalmente no interactúan con los otros elementos.

A continuación se describe cualitativa y brevemente la forma en que el programa considera cada uno de los parámetros a modelar. Para una revisión exhaustiva de los procedimientos matemáticos involucrados se remite al manual del programa QUAL2K, el cual se puede consultar y descargar en el sitio WEB de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América ([www.epa.gov](http://www.epa.gov))<sup>1</sup>.

### ***Oxígeno Disuelto***

El balance de oxígeno en una corriente depende de la capacidad de la corriente para reaerarse ella misma. Esta capacidad es una función de los procesos de advección y difusión que ocurren dentro del

sistema y las fuentes y demandas internas. Las principales fuentes de oxígeno, adicionalmente a la reaeración atmosférica, son el oxígeno producido por fotosíntesis y el oxígeno contenido en el flujo de entrada. Las demandas de oxígeno disuelto incluyen la oxidación bioquímica de materia orgánica, demanda de oxígeno del bentos y el oxígeno utilizado en la respiración de los microorganismos.

### ***DBO Carbonosa***

Una de las principales demandas de oxígeno en el agua es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) carbonosa. Esta demanda es una medida del material orgánico y es usualmente definida como la cantidad de oxígeno requerida por las bacterias mientras se estabiliza la parte carbonosa degradable de la materia orgánica en condiciones aerobias. Las descargas de aguas residuales usualmente contienen cantidades apreciables de DBO que se descompone rápidamente en presencia de bacterias aerobias. Estas bacterias están presentes en la mayoría de las aguas y comienzan el proceso de descomposición de manera rápida. Cuando las concentraciones de oxígeno disuelto se vuelven muy pequeñas, la velocidad de este proceso de descomposición disminuye.

La DBO se determina típicamente a partir del análisis de laboratorio que consiste en la medición del oxígeno consumido por las bacterias en un periodo determinado de tiempo. Para evitar una posible interferencia de compuestos de nitrógeno, los que también consumen oxígeno, la prueba de DBO debe utilizar la técnica de supresión de nitrificación para inhibir las bacterias nitrificantes. Mientras la oxidación bioquímica teóricamente toma un tiempo infinito para completarse, la oxidación llega al 95-99% en un periodo de 20 días ( $DBO_{20}$ ). Rutinariamente la medición de DBO se realiza en un periodo de 5 días para obtener resultados a tiempo. La oxidación en el periodo de 5 días ( $DBO_5$ ) llega a ser de 60-70% de la  $DBO_u$ .

La velocidad a la que la DBO disminuye se debe a dos mecanismos: consumo y sedimentación. El consumo es la razón a la que la DBO se remueve debido a la descomposición bacteriana. Cuando la concentración de oxígeno disuelto es alta, este proceso se realiza rápidamente.

El modelo asume una ecuación de primer orden para describir la desoxigenación de la  $DBO_u$ . La función de DBO también toma en cuenta la remoción adicional de DBO debida a la sedimentación y floculación, que no ejercen una demanda de oxígeno.

### ***Demanda de Oxígeno del Sedimento***

Una importante demanda de oxígeno en el agua es la demanda de oxígeno del sedimento. Los depósitos en el fondo en forma de materia orgánica sedimentada acumulada a lo largo de la corriente pueden ejercer una demanda de oxígeno. La demanda de oxígeno de sedimentos resultantes de descargas puntuales puede variar entre 0.05 mg de oxígeno/m<sup>2</sup>-día en los suelos minerales a 2.0 mg de oxígeno/m<sup>2</sup>-día en lodos de desembocaduras, a 20°C. Adicionalmente a las fuentes anteriormente mencionadas, el material orgánico proveniente de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o industriales puede sedimentarse aguas debajo de las descargas de agua, creando demandas de oxígeno disuelto que varían entre 0.05 y 10 mg de oxígeno/m<sup>2</sup>-día.

### ***Ciclo de Nitrógeno***

En aguas naturales existe una transformación por etapas de nitrógeno orgánico a amoníaco, a nitrito y finalmente a nitrato.

Varios compuestos de nitrógeno en las descargas de aguas residuales también presentan demanda de oxígeno en el agua conforme cambian de una forma a otra. Estos cambios de forma requieren la presencia de poblaciones específicas de bacterias. El nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) se convierte a nitrógeno en forma de nitrito ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) mediante la bacteria *Nitrosomonas*. El Nitrógeno en forma de nitrito se convierte a nitrógeno en forma de nitrato ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) mediante la bacteria *Nitrobacter*. La conversión de nitrógeno orgánico a nitrógeno amoniacal se lleva a cabo mediante hidrólisis y por tanto no consume oxígeno. Bajo ciertas circunstancias, como baja concentración de oxígeno disuelto, las poblaciones bacterianas nitrificantes y/o su actividad pueden ser inhibidas. Investigaciones han demostrado que niveles de oxígeno disuelto menores a 2 mg/L inhiben significativamente la nitrificación. Bajo condiciones de ausencia de oxígeno, el nitrato puede ser convertido a gas nitrógeno en un proceso conocido como denitrificación.

### ***Ciclo de Fósforo***

El ciclo de fósforo opera de manera parecida al de nitrógeno en muchos sentidos, pero menos complejo. Las formas orgánicas de fósforo se generan por la muerte de algas o por descargas de aguas residuales, el cual entonces se convierte al estado inorgánico disuelto, donde está disponible para las algas. El fósforo descargado de plantas de tratamiento municipales generalmente se encuentra en la forma de fósforo inorgánico disuelto y es fácilmente consumido por las algas en la fotosíntesis.

### ***Coliformes***

Los coliformes son un indicador de la contaminación patógena en las aguas superficiales. El modelo utiliza una ecuación de primer orden en la que la remoción de coliformes es determinada por la temperatura, la luz y sedimentación del mismo. En este estudio los coliformes simulados son los coliformes fecales.

### ***Representación Funcional de la Temperatura***

En la simulación de la temperatura,  $C$  (de la ecuación básica de transporte) se toma como la concentración de calor. El balance de energía toma en cuenta todo el calor transferido a través de las fronteras, es decir, el calor transferido a través de la interfase aire-agua y a través de la interfase agua-suelo. Este último es generalmente insignificante.

El calor se transfiere a través de la interfase aire-agua debido a tres diferentes procesos: radiación, evaporación y conducción. Los términos individuales de energía relacionados con estos procesos son los siguientes:

- Radiación solar de onda corta
- Radiación atmosférica de onda larga
- Radiación de la superficie del agua de onda larga
- Conducción y convección
- Evaporación y condensación

### ***Concentración de Saturación de Oxígeno Disuelto***

La solubilidad de oxígeno disuelto en agua disminuye conforme la temperatura aumenta, conforme aumenta la concentración de sólidos disueltos, y conforme disminuye la presión atmosférica, esta última

con la elevación. El modelo utiliza una ecuación predictiva para la concentración de saturación (equilibrio) de oxígeno disuelto.

### ***Coefficiente de Reaeración Atmosférica***

El proceso por el que el oxígeno disuelto en la corriente se incrementa por el aire de la superficie se conoce como reaeración atmosférica y es la fuente primaria de oxígeno disuelto en el agua. El proceso de reaeración es generalmente una función de la geometría de la corriente y de sus características hidráulicas. Diferentes técnicas y ecuaciones han sido desarrolladas para estimar los coeficientes de reaeración con base en la geometría y las características hidráulicas de la corriente.

El coeficiente de reaeración ( $K_2$ ) generalmente se expresa como una función de la profundidad de la corriente y su velocidad. El modelo cuenta con 4 diferentes opciones para estimar o leer los valores de  $K_2$ : Interna, Fórmula de Churchill; Ecuación de O'Connor y Dobbins, Ecuación de Owens, et al., Ecuación de Thackston y Dawson la Ecuación de Tsivoglou y Neal <sup>6</sup>.

En la calibración se utilizó la opción 2 para la reaeración en los diferentes segmentos del tramo de estudio. Esto es la opción de coeficiente simple. El resto de las opciones realizan el cálculo del coeficiente de reaeración con base en las características físicas del río (pendiente, profundidad y ancho del río). Estas fórmulas se probaron, pero se obtenían valores de reaeración tales que producían una concentración de oxígeno disuelto muy elevada comparada con los valores obtenidos en los muestreos realizados en la primera parte de este estudio <sup>2</sup> por lo que no se podía realizar la calibración.

### ***Reaeración Debida a Represas***

El modelo QUAL2K tiene la capacidad de modelar la cantidad de oxígeno que entra al sistema debido a la reaeración en represas. Para este cálculo la ecuación que se utiliza es la descrita por Zison et. al. y atribuida a Gameson <sup>6</sup>.

### ***Coefficientes Dependientes de la Temperatura***

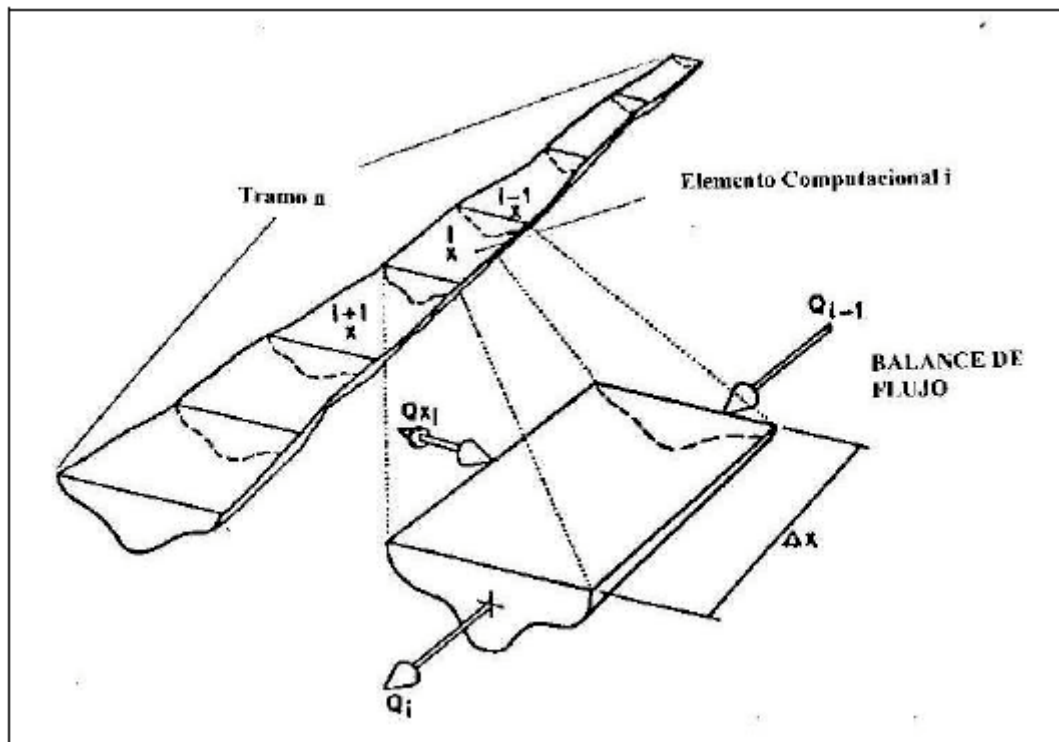
Muchas de las reacciones que determinan la calidad del agua en sistemas naturales están en función de la temperatura; esta dependencia se considera generalmente variando los diferentes coeficientes de reacción.

Los valores de temperatura calculados en el modelo se usan para corregir los coeficientes de reacción de los diferentes parámetros. Estos coeficientes se dan a 20°C y son entonces corregidos por temperatura de acuerdo a la formulación de tipo Streeter-Phelps. Si la temperatura no se simula, el valor de temperatura especificado en las condiciones iniciales se toma como el valor de la simulación.

### ***Representación de una Corriente en QUAL2K***

En QUAL2K una corriente es conceptualizada como una sucesión de elementos computacionales que operan como reactores completamente mezclados, ligados uno a otro por mecanismos de transporte y difusión. Estos elementos se agrupan en segmentos que se caracterizan por tener las mismas propiedades hidráulicas (Pendiente de la corriente, sección transversal, rugosidad, etc). La muestra la representación de una corriente en el modelo QUAL2K.

Figura 5-15 Representación de una Corriente Superficial en el Modelo QUAL2K <sup>6</sup>



### 5.5.2 Resumen de Variables

A continuación se agrupan en la **Tabla 5-29** las variables que se capturan para calibrar y utilizar el modelo del programa QUAL2K, así como los valores por omisión indicados en el manual y en el programa.

**Tabla 5-29 Valores Utilizados en el Modelado del Tramo de Estudio <sup>6</sup>**

Parámetro	Valor	Unidades	Símbolo
<b>Estequiometría:</b>			
Carbono	40	gC	gC
Nitrógeno	7.2	gN	gN
Fósforo	1	gP	gP
Peso Seco	100	gD	gD
Clorofila	1	gA	gA
<b>Sólidos Suspendedos Inorgánicos:</b>			
Velocidad de sedimentación	0.3	m/d	$v_i$
<b>Oxígeno:</b>			
Reaeración	Thackston-Dawson		

## Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información

Parámetro	Valor	Unidades	Símbolo
Corrección por temperatura	1.024		$\theta_a$
Efecto de viento en reaeración	None		
O <sub>2</sub> para oxidación de carbono	2.69	gO <sub>2</sub> /gC	$r_{oc}$
O <sub>2</sub> para nitrificación de NH <sub>4</sub>	4.57	gO <sub>2</sub> /gN	$r_{on}$
Modelo de inhib de oxígeno (Oxidación DBOC)	Exponencial		
Parámetro de inhib de oxígeno (Oxidación DBOC)	0.60	L/mgO <sub>2</sub>	$K_{soef}$
Modelo de inhib de oxígeno (nitrificación)	Exponencial		
Parámetro de nitrificación de la inhib de oxígeno	0.60	L/mgO <sub>2</sub>	$K_{sona}$
Modelo de desnitrificación de oxígeno	Exponencial		
Parámetro de desnitrificación de oxígeno	0.60	L/mgO <sub>2</sub>	$K_{sodn}$
Modelo de oxígeno Inhibición de phyto resp	Exponencial		
Parámetro de inhib de oxígeno phyto resp	0.60	L/mgO <sub>2</sub>	$K_{sop}$
Modelo de oxígeno por respiración de algas del fondo	Exponencial		
Parámetro de oxígeno respiración de algas	0.60	L/mgO <sub>2</sub>	$K_{sob}$
<b>DBOC (lento):</b>			
Velocidad de Hidrólisis	0.1	/d	$k_{hc}$
Corrección por temperatura	1.07		$\theta_{hc}$
Velocidad de Oxidación	0	/d	$k_{dcs}$
Corrección por temperatura	1.047		$\theta_{dcs}$
<b>DBOC (rápido):</b>			
Velocidad de Oxidación	0.23	/d	$k_{dc}$
Corrección por temperatura	1.047		$\theta_{dc}$
<b>N orgánico:</b>			
Hidrólisis	0.2	/d	$k_{hn}$
Corrección por temperatura	1.07		$\theta_{hn}$
Velocidad de Sedimentación	0.1	m/d	$v_{on}$
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:</b>			
Nitrificación	1	/d	$k_{na}$
Corrección por temperatura	1.07		$\theta_{na}$
<b>Nitratos:</b>			
Desnitrificación	0	/d	$k_{dn}$
Corrección por temperatura	1.07		$\theta_{dn}$
Coefficiente de transferencia de desnitrificación sed.	0	m/d	$v_{di}$

## Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información

Parámetro	Valor	Unidades	Símbolo
Corrección por temperatura	1.07		$\theta_{di}$
<b>P orgánico:</b>			
Hidrólisis	0.2	/d	$k_{hp}$
Corrección por temperatura	1.07		$\theta_{hp}$
Velocidad de Sedimentación	0.1	m/d	$v_{op}$
<b>P inorgánico:</b>			
Velocidad de Sedimentación	2	m/d	$v_{ip}$
Coefficiente de absorción de P inorgánico	0	L/mgD	$K_{dpi}$
Constante de media saturación de atenuación de oxígeno P sed	0.05	mgO <sub>2</sub> /L	$k_{spi}$
<b>Fitoplankton:</b>			
Velocidad máxima de crecimiento	2.5	/d	$k_{gp}$
Corrección por temperatura	1.07		$\theta_{gp}$
Velocidad de respiración	0.2	/d	$k_{rp}$
Corrección por temperatura	1.07		$\theta_{rp}$
Velocidad de muerte	0.2	/d	$k_{dp}$
Corrección por temperatura	1.07		$\theta_{dp}$
Constante de media saturación de Nitrógeno	25	ugN/L	$k_{sPp}$
Constante de media saturación de Fósforo	5	ugP/L	$k_{sNp}$
Constante de media saturación de C inorgánico	1.30E-05	moles/L	$k_{sCp}$
Modelo de luz	Media saturación		
Constante de luz	100	langleys/d	$K_{Lp}$
Preferencia de amoníaco	25	ugN/L	$k_{hnxp}$
Velocidad de sedimentación	0.5	m/d	$v_a$
<b>Alga del fondo:</b>			
Modelo de crecimiento	Orden cero		
Velocidad máxima de crecimiento	50	mgA/m <sup>2</sup> /d ó /d	$C_{gb}$
Corrección por temperatura	1.07		$\theta_{gb}$
Modelo Capacidad de transporte de primer orden	1000	mgA/m <sup>2</sup>	$a_{b,max}$
Velocidad de respiración	0.1	/d	$k_{rb}$
Corrección por temperatura	1.07		$\theta_{rb}$
Velocidad de excreción	0.05	/d	$k_{eb}$

## Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información

Parámetro	Valor	Unidades	Símbolo
Corrección por temperatura	1.07		$\theta_{db}$
Velocidad de muerte	0.1	/d	$k_{db}$
Corrección por temperatura	1.07		$\theta_{db}$
Constante de media saturación de nitrógeno externo	300	ugN/L	$k_{sPb}$
Constante de media saturación de fósforo externo	100	ugP/L	$k_{sNb}$
Constante de media saturación de C inorgánico externo	1.30E-05	moles/L	$k_{sCb}$
Modelo de luz	Media saturación		
Constante de luz	100	langleys/d	$K_{Lb}$
Preferencia de amoníaco	25	ugN/L	$k_{hmb}$
Límite de subsistencia para N	0.72	mgN/mgA	$q_{0N}$
Límite de subsistencia para P	0.1	mgP/mgA	$q_{0P}$
Velocidad de consume máximo para N	72	mgN/mgA/d	$\rho_{mN}$
Velocidad de consume máximo para P	5	mgP/mgA/d	$\rho_{mP}$
Constante de media saturación de nitrógeno externo	0.9	mgN/mgA	$K_{qN}$
Constante de media saturación de fósforo externo	0.13	mgP/mgA	$K_{qP}$
<b>Partículas de materia orgánica:</b>			
Velocidad de disolución	0.5	/d	$k_{dt}$
Corrección por temperatura	1.07		$\theta_{dt}$
Fración de disolución a DBOC rápida	1.00		$F_f$
Velocidad de sedimentación	0.1	m/d	$v_{dt}$
<b>Patógenos:</b>			
Velocidad de muerte	0.8	/d	$k_{dx}$
Corrección por temperatura	1.07		$\theta_{dx}$
Velocidad de sedimentación	1	m/d	$v_x$
Factor de eficiencia de luz	1.00		$\alpha_{path}$
<b>pH:</b>			
Presión parcial de bióxido de carbono	347	Ppm	$p_{CO2}$

### Obtención de Constantes Hidrométricas

Para realizar la calibración y la modelación de la calidad del agua de los tramos de los ríos Verde y Santiago con el modelo matemático QUAL2K es necesario obtener las constantes hidrométricas de los ríos en cada uno de los tramos en estudio.

## Sección 5 - Análisis y Evaluación de la Información

Las constantes hidrométricas necesarias para la modelación de la calidad del agua se obtienen a través de las siguientes relaciones:

$$P = \alpha Q^\beta \quad (4.1)$$

$$U = a Q^b \quad (4.2)$$

Q = Caudal

U = Velocidad media de la corriente

P = Profundidad media de la corriente

$\alpha, \beta$  = Constantes hidrométricas para la profundidad

a, b = Constantes hidrométricas para la velocidad

El objetivo es obtener los valores de los coeficientes y exponentes que mejor aproximen las series de datos de caudal - velocidad y caudal - profundidad.

Para esto se utilizaron las secciones levantadas en el estudio previo del río Verde y del río Santiago, las cuales se presentan a continuación en la **Tabla 5-30**. En el caso del Río Santiago, además de los levantamientos, se estudiaron las características físicas de las presas: El Salto, Puente Grande, Colimilla y La Intermedia. En el **Anexo D** se presentan las constantes hidrométricas utilizadas en la calibración del modelo.

**Tabla 5-30 Localización de las Secciones Transversales Utilizadas**

Nombre	Norte, UTM	Este, UTM
<b>Río Verde</b>		
El Chilarillo	2,398,467	763,460
Belén del Refugio	2,383,656	765,982
Apanico	2,357,745	749,468
Temacapulín	2,344,903	739,515
Vado El Zapotillo	2,340,950	726,400
La Cuña	2,324,116	726,386
Acatic	2,305,218	716,943
El Purgatorio	2,293,054	678,978

**Obtención de las Constantes de Dispersión**

El modelo QUAL2K utiliza la constante de dispersión para obtener el coeficiente de dispersión longitudinal de cada uno de los segmentos de los ríos. La dispersión es básicamente un proceso convectivo de transporte de masa. El coeficiente es utilizado para realizar el balance de masa y concentraciones en cada elemento computacional. El modelo utiliza la siguiente ecuación desarrollada en 1956 por Taylor:

$$D_L = K p V^* \tag{4.3}$$

$D_L$  = Coeficiente de Dispersión Longitudinal

$K$  = Constante de Dispersión

$p$  = Profundidad promedio

$V^*$  = Velocidad de corte =  $(g p s)^{1/2}$

$g$  = Constante gravitacional

$s$  = Pendiente de la corriente

El intervalo de valores para la constante de dispersión en el modelo QUAL2K es de 6 a 6000.

**5.5.3 Características de las Secciones de Estudio**

El tramo del río Verde, motivo de este estudio, corresponde al sitio en que ingresa al estado de Jalisco, aguas abajo de la Presa El Niágara y termina donde confluye con el río Santiago, aguas abajo del sitio conocido como El Purgatorio. A continuación se muestran los principales puntos a lo largo del tramo del río, con su cadenamamiento en km. y su elevación en metros sobre el nivel del mar.<sup>3</sup>

**Tabla 5–31 Perfil del Tramo de Estudio del Río Verde**

Río Verde		
Estación	km	Elevación (m) *
El Chilarillo	1	1760
Belén del Refugio	12	1720
Apánico	36	1640
Río La Laja	53	1620
Río Ipalco	56	1615
Puente Temacapulín	64	1610
Arroyo Mexiticacán	78	1580
Vado El Zapotillo	88	1560
Arroyo Yahualica	99	1520
Río El Salto	111	1465
Estación Hidrométrica La Cuña	116	1450

Río Verde		
Estación	km	Elevación (m) *
Río Tepatitlán	153	1240
Arroyo San Pablo	180	1070
Purgatorio	196	1035

#### 5.5.4 Ubicación y Composición de las Descargas

Se introdujeron las descargas que se consideraron más importantes para el comportamiento del río Verde con los datos que se muestra en las **Tabla 5–32** y **Tabla 5–33**.

**Tabla 5–32 Ubicación y Composición de las Descargas I**

Nombre de Descarga	Ubicación Km	Flujo m <sup>3</sup> /s	Temperatura °C	Conductancia umhos	Oxígeno Disuelto mg/L	DBO mgO <sub>2</sub> /L
Chico-Agostadero*	0	0.0430	12.30	1055	8.4	2.4
Chilarillo	1	0.0050	28.00	N.A.	6.5	17.2
Teocaltiche*	8	0.1120	19.90	890	8.37	30.3
D. Belén del Refugio	7	0.0050	22.00		6.5	2
San Juan de los Lagos*	16	0.3720	20.00	N.A.	2.83	7.80
La Laja*	44	0.0980	17.13	712.98	0	14.56
Ipalco*	47	0.0510	16.30	480.00	7.3	2.00
El Salitre	55	0.0053	20.00	N.A.	6	26.00
Arroyo Mexicacán	73	0.0082	20.00	N.A.	6	23.30
Arroyo Colorado/Yahualica	93	0.0700	14.90	N.A.	6	9.20
Río El Salto	106	0.2000	20.00	N.A.	8.5	0.90
Arroyo Mezcala	127	0.0047	20.00	N.A.	6.5	3.60
Río Tepatitlán*	148	0.2574	17.00	855.00	0	24.40
Arroyo La Máquina	161	0.0000		N.A.		
Arroyo San Pablo Lagunillas	175	0.1000	18.40	N.A.	6.5	1.10

\* Referente a las descargas cuyos datos fueron actualizados en este reporte, los que no lo muestran contienen datos de campo de 2003 que fueron usados para realizar una simulación equivalente.

Las descargas con datos actualizados son aquellas que muestran el mayor flujo o que no se habían considerado en el modelo y ahora fueron consideradas con la finalidad de que el modelo tuviese una mayor validación

**Tabla 5–33 Ubicación y Composición de las Descargas II**

<b>Nombre de Descarga</b>	<b>Nitrógeno Orgánico ugN/L</b>	<b>Amonio ugN/L</b>	<b>Nitratos + Nitritos ugN/L</b>	<b>Fósforo Orgánico ugP/L</b>	<b>pH s.u.</b>
Chico-Agostadero*	0.503	0.2	0.05	0.117	8.32
Chilarillo	0.07	0.2	0	0.03	7.00
Teocaltiche*	10.2	15.6	0.1	6.16	8.01
D. Belén del Refugio	0.35	0.2	0	0.38	7.00
San Juan de los Lagos*	0.76	13.70	0.01		7.00
La Laja*	4.37	1.00	2.00	4.51	8.66
Ipalco*	0.44	0.20	0.19	2.42	8.48
El Salitre	2.47	0.20	0.09	0.73	7.00
Arroyo Mexxicacán	1.87	0.20	0.08	0.54	7.00
Arroyo Colorado/Yahualica	0.53	0.20	1.03	0.14	7.00
Río El Salto	0.18	0.20	0.06	0.02	7.00
Arroyo Mezcala	0.30	0.20	0.10	0.10	7.00
Río Tepatitlán*	8.80	28.20	0.15	3.83	7.78
Arroyo La Máquina					7.00
Arroyo San Pablo Lagunillas	0.15	0.20	0.10	0.05	7.00

\* Referente a las descargas cuyos datos fueron actualizados en el presente estudio los que no lo muestran contienen datos de campo de 2003 que fueron usados para realizar una simulación equivalente.

### 5.5.5 Calibración del Modelo

Una vez ubicados los puntos de ingreso y habiendo definido las constantes hidrológicas de cada punto del modelo se procedió a compararlo con puntos estratégicos (Tabla 5–34Tabla 5–34tabla 4.6) del mismo para corregir algunas constantes y observar mejores formas de aproximación, dando así una mejor validación al comportamiento del mismo.

Tabla 5–34 Características del Río Verde en Diferentes Puntos

Distancia	Flujo	Conductividad	Oxígeno Disuelto	DBO	N Orgánico	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	P Orgánico
(km)	(m <sup>3</sup> /s)	(µmhos)	(mg O <sub>2</sub> /L)	(mg O <sub>2</sub> /L)	(µg N/L)	(µg N/L)	(µg N/L)	(µg N/L)
196.00	N.A.	N.A.	5.30	17.20	1.94	10.51	2.00	0.10
153.00	N.A.	660.50	4.46	7.20	0.43	1	4.00	0.31
116.00	2.405	659.50	4.50	8.25	1.33	1	0.84	0.52
88.00	N.A.	730.00	4.51	9.29	1.13	0	0.45	0.27
64.00	3.243	741.00	4.77	7.45	1.06	0	0.49	0.25
36.00	5.507	787.50	5.04	5.61	0.99	0	0.53	0.22
12.00	6.630	833.50	4.77	7.01	1.30	0	0.79	0.26
1.00	7.754	N.A-	5.43	7.20	1.01	0	0.52	0.32

Una vez realizada la primera Corrida fue necesario de realizar una pequeña corrección al modelo que consistió en agregar una descarga difusa continua en los últimos 70 km. con la finalidad de empatar los datos con la simulación del modelo obteniendo las gráficas que quedan de la siguiente manera. Mostrando los datos de campo con respecto a los valores que el modelo predice para el comportamiento.

Figura 5–16 Flujo del Río Verde

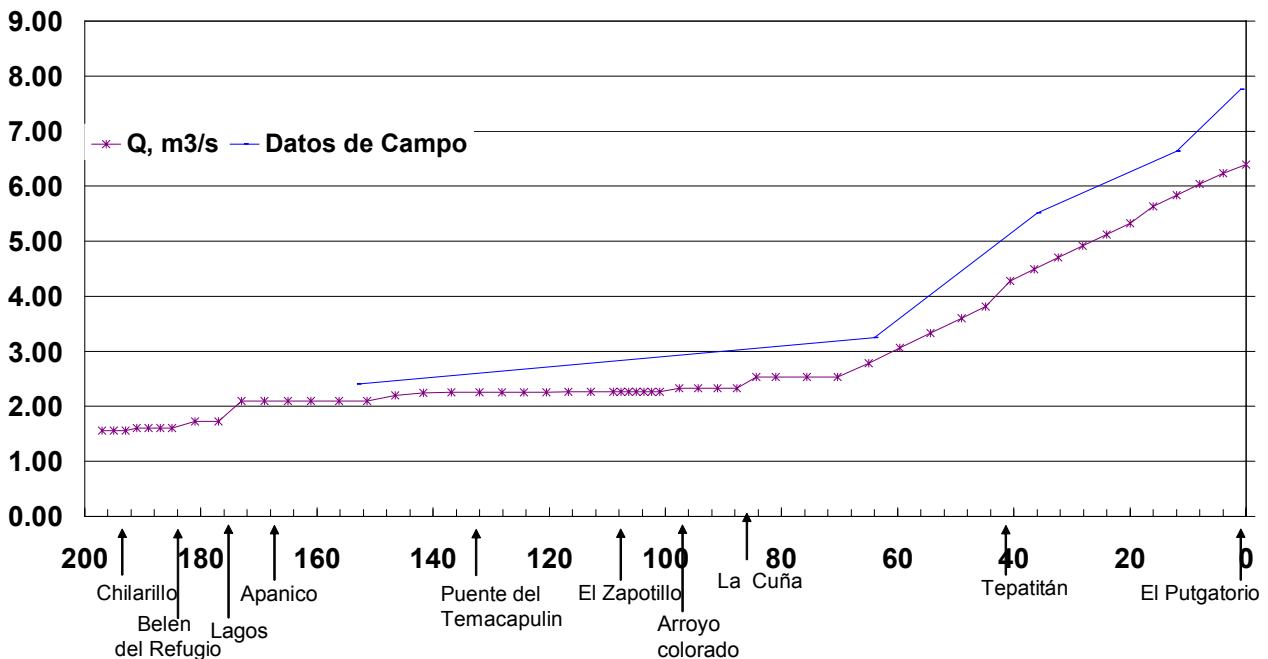


Figura 5-17 Conductividad en el Río Verde

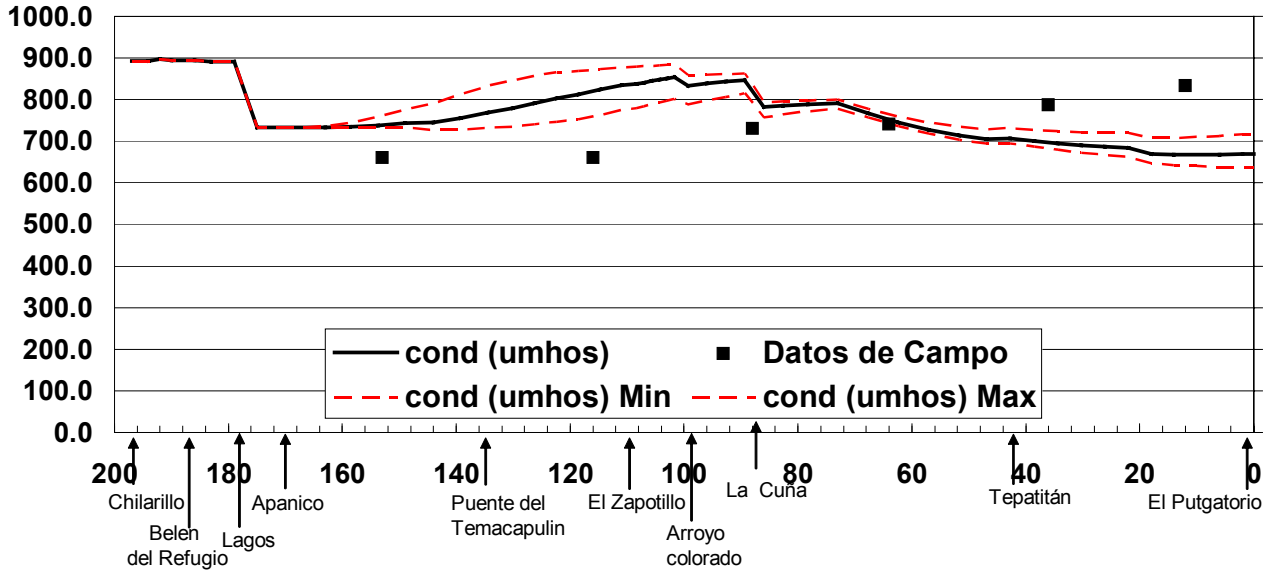


Figura 5-18 Oxígeno Disuelto en el Río Verde

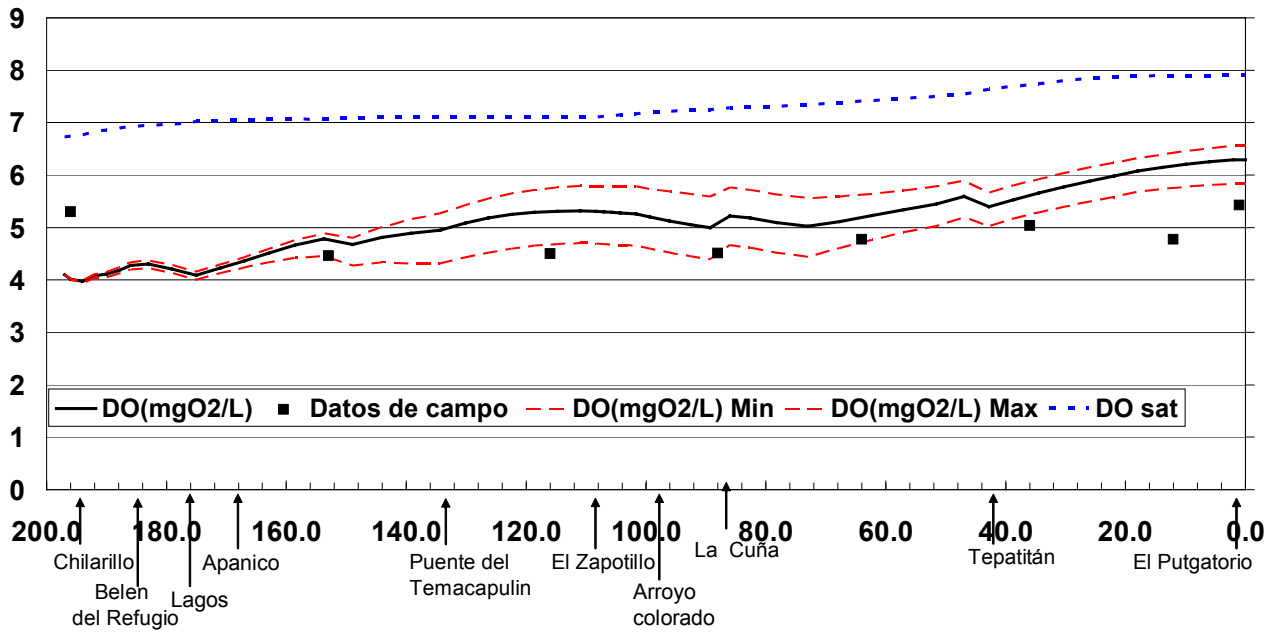


Figura 5-19 Demanda Biológica de Oxígeno en el Río Verde

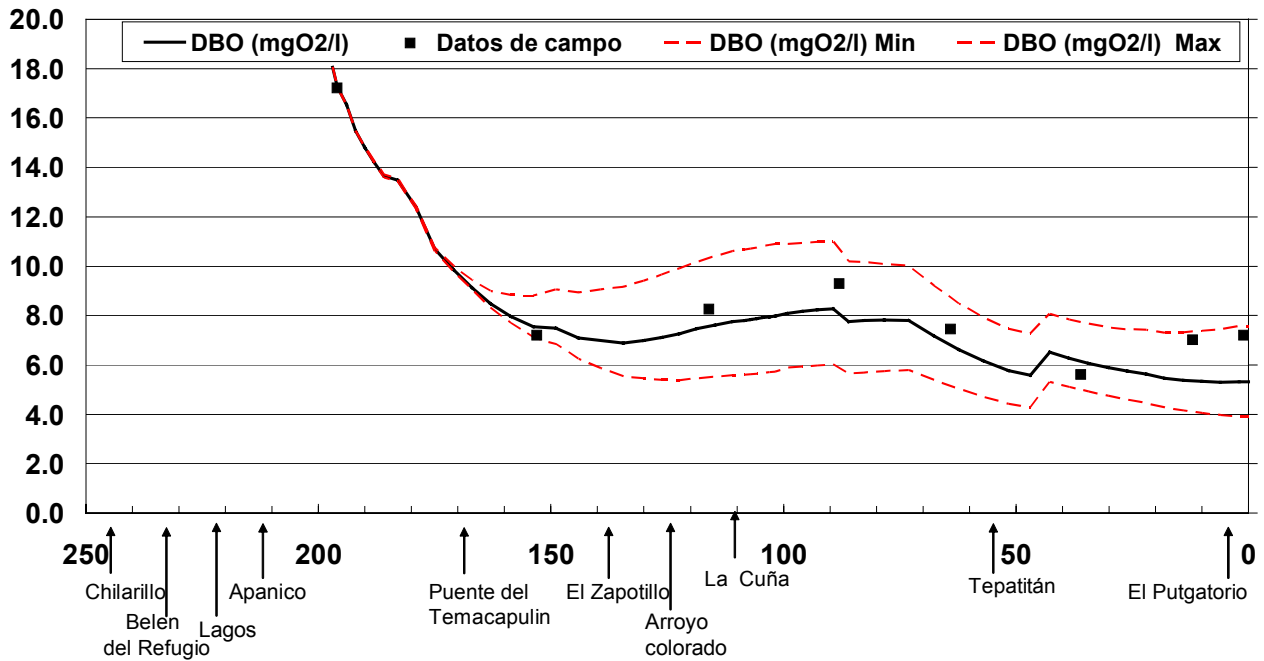


Figura 5-20 Nitrógeno Orgánico en el Río Verde

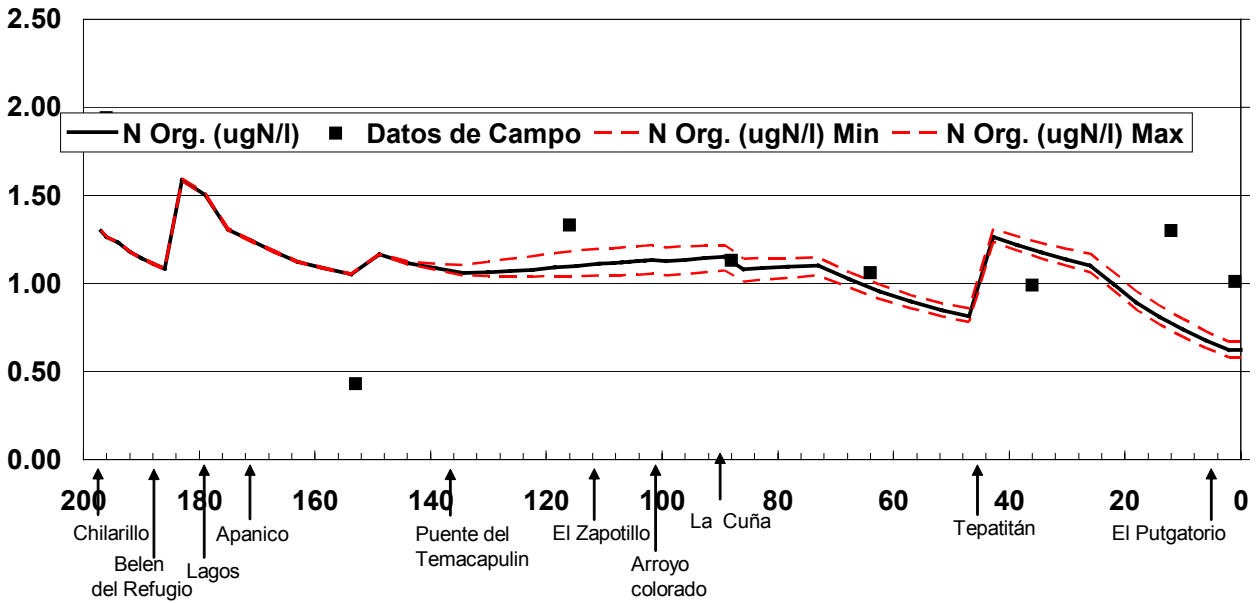


Figura 5-21 Nitratos en el Río Verde

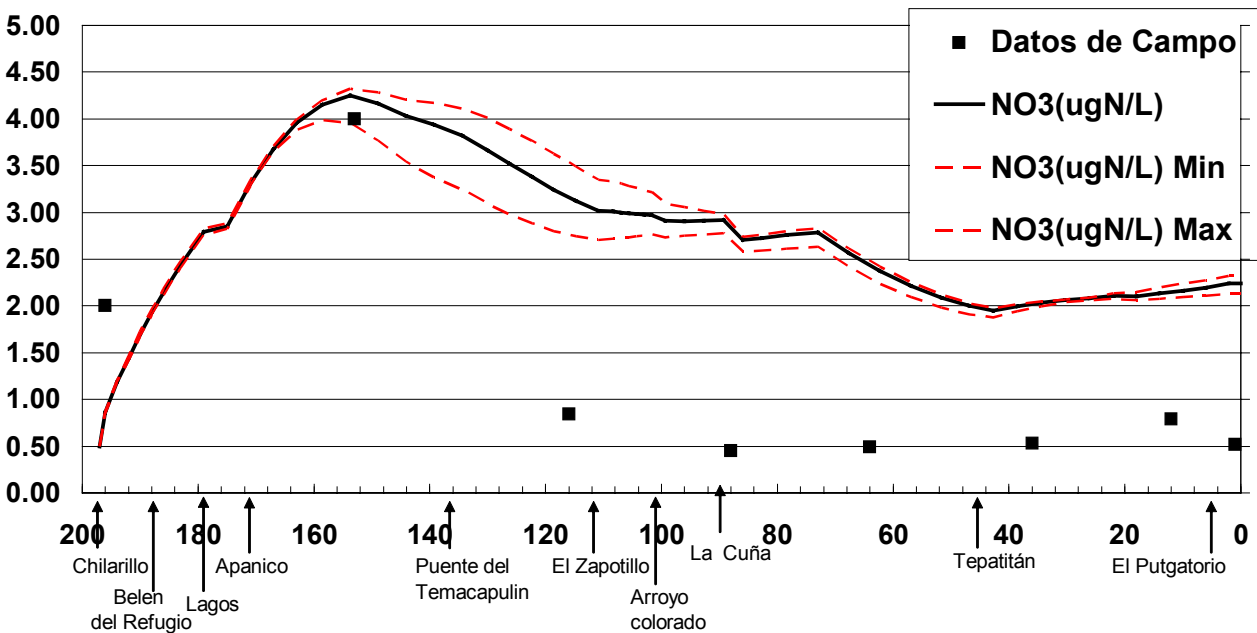
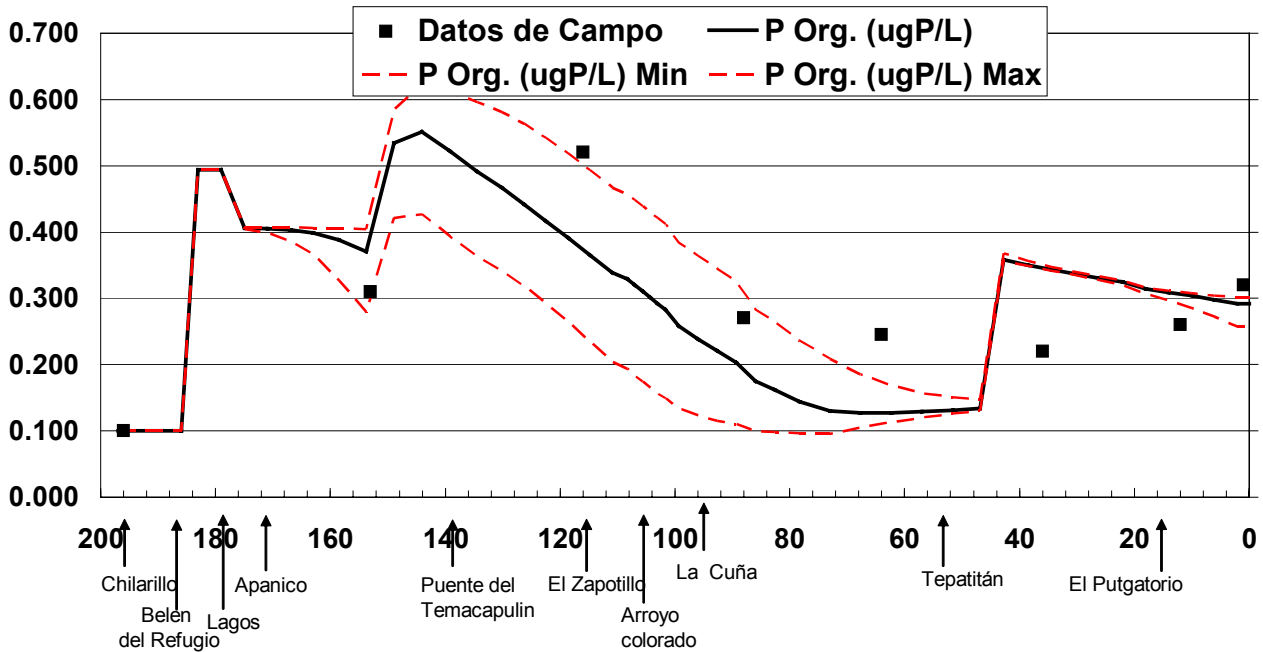


Figura 5–22 Fósforo Orgánico en el Río Verde



### 5.5.6 Modelación de Presa El Zapotillo y Arcediano

Para realizar esto se corrigieron los valores de las ecuaciones hidráulicas para llevarlo a los 20 metros de profundidad y también se corrigió la velocidad con la finalidad de aproximar el modelo a los parámetros de la presa, se eliminó el ingreso del flujo base. Y dando un caudal ecológico de 0.4 metros cúbicos para la salida de la presa el Zapotillo.

Como se puede observar en las gráficas hay un crecimiento considerable de los factores de contaminación aguas abajo del río Tepatitlán como resultado de la contaminación de esta descarga. Aunque la calidad posteriormente mejora debido al alto tiempo de retención en la presa arcediano.

Figura 5-23 Flujo en Simulación del Río Verde con Presas

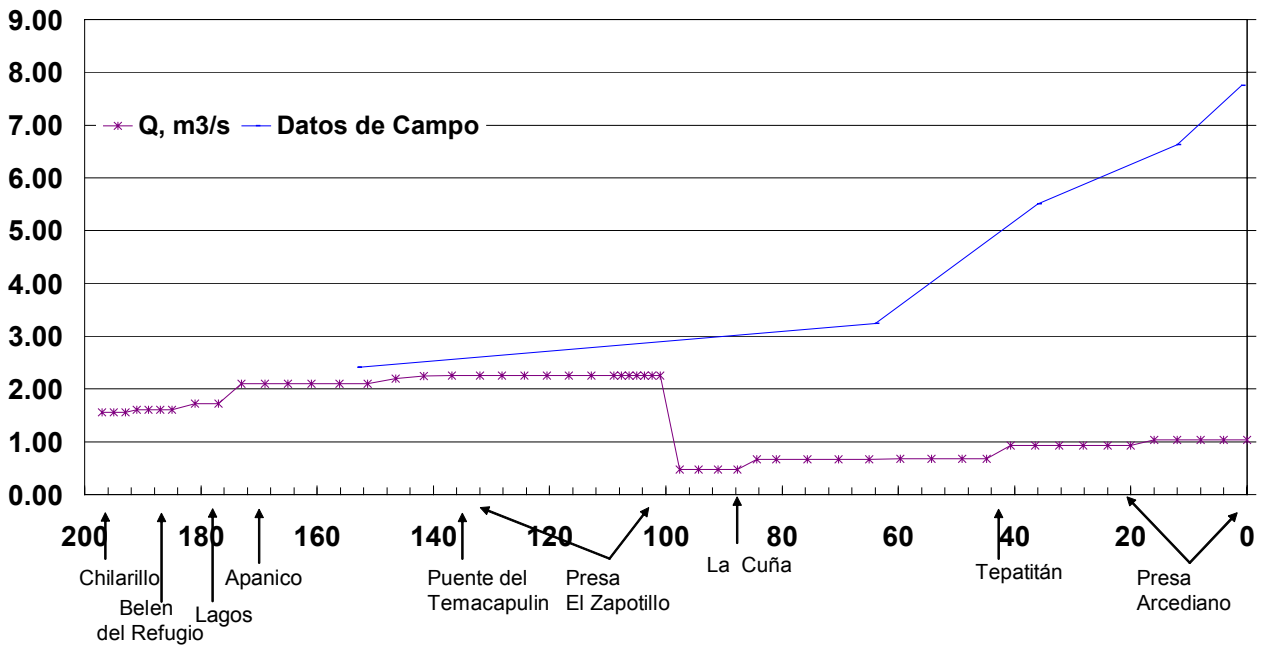


Figura 5-24 Profundidad en Simulación del Río Verde con Presas

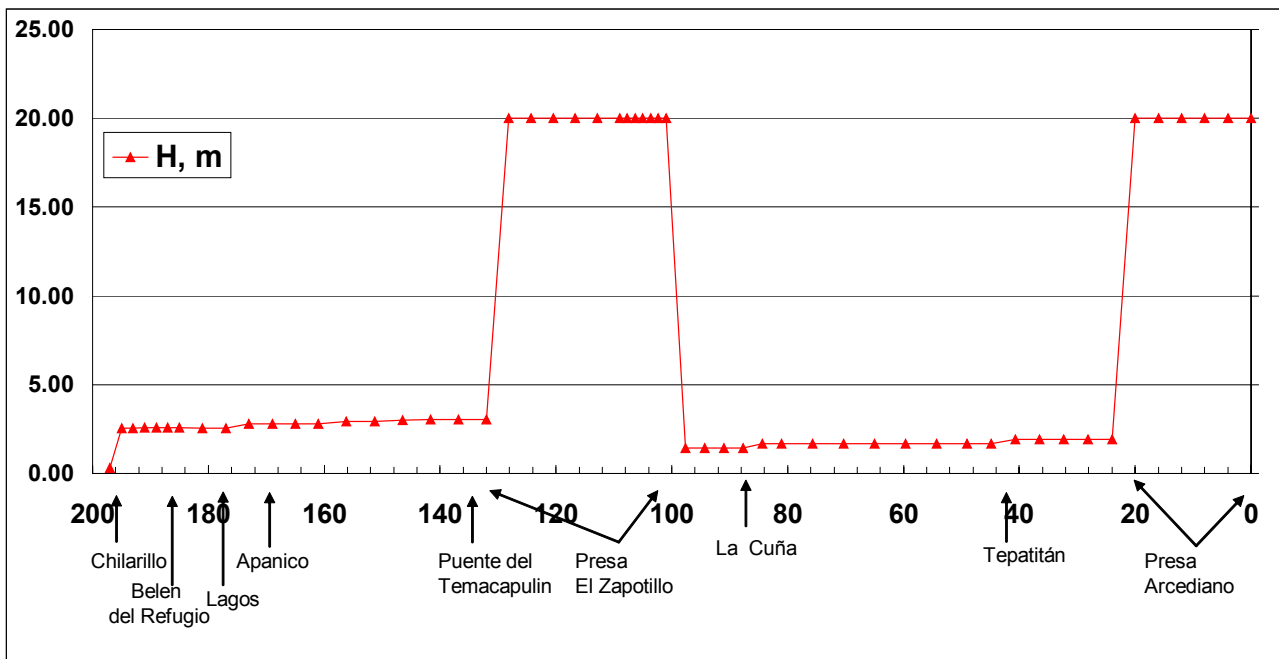


Figura 5-25 Conductividad en Simulación del Río Verde con Presas

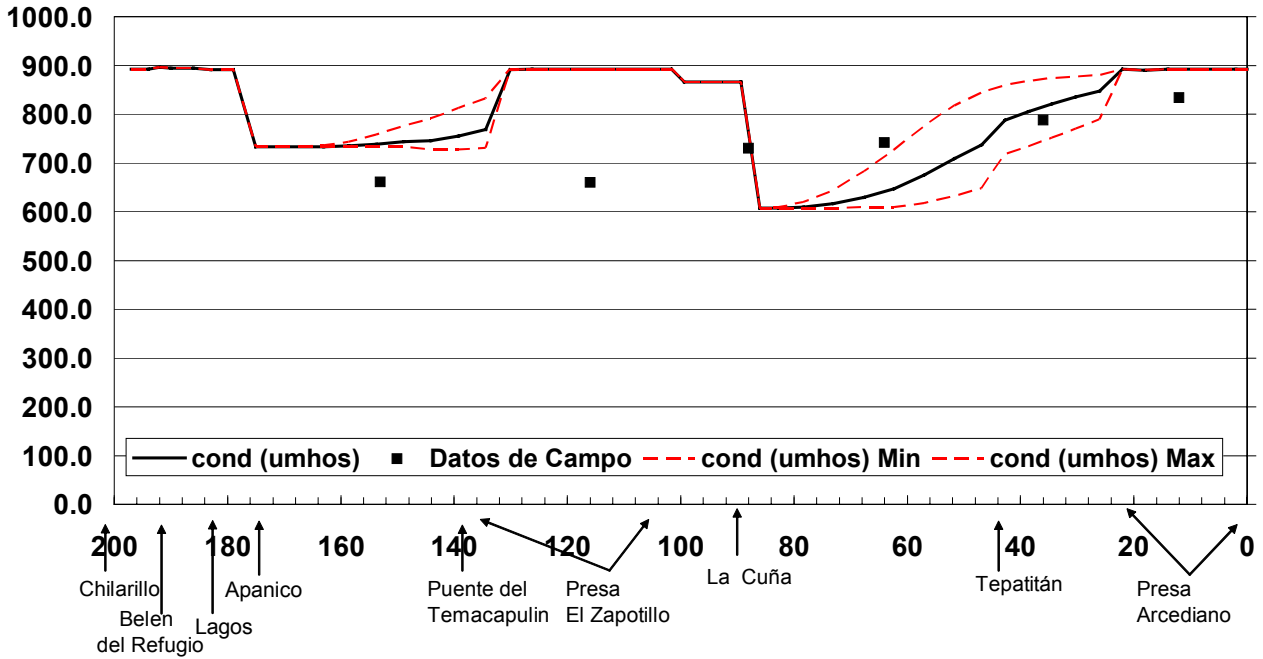


Figura 5-26 Demanda Biológica de Oxígeno en Simulación del Río Verde con Presas

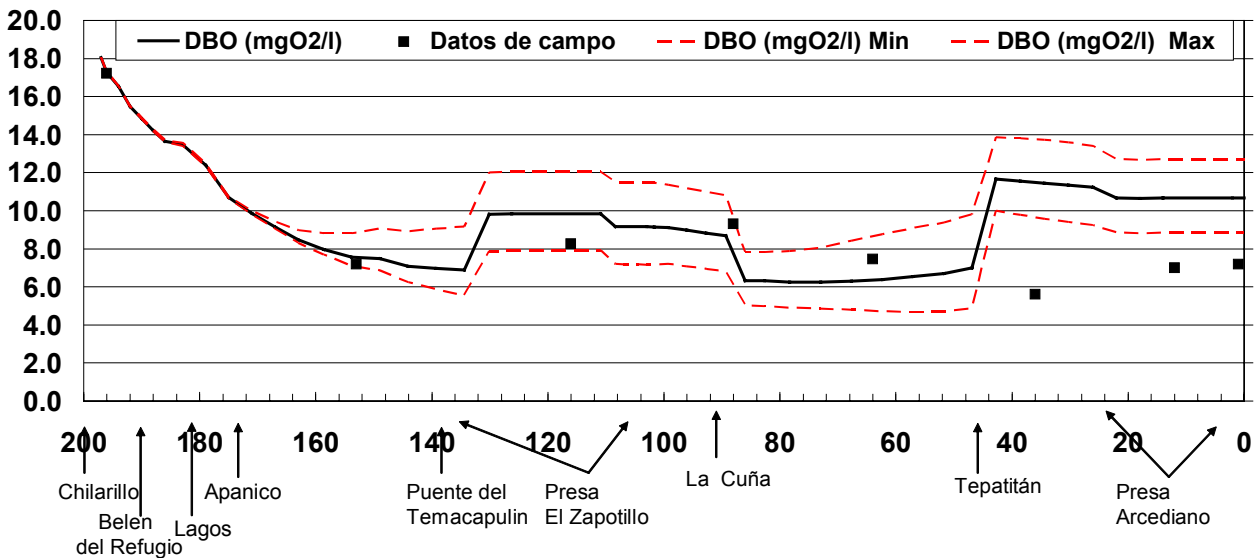


Figura 5-30 Oxígeno Disuelto en simulación del Río Verde con presas

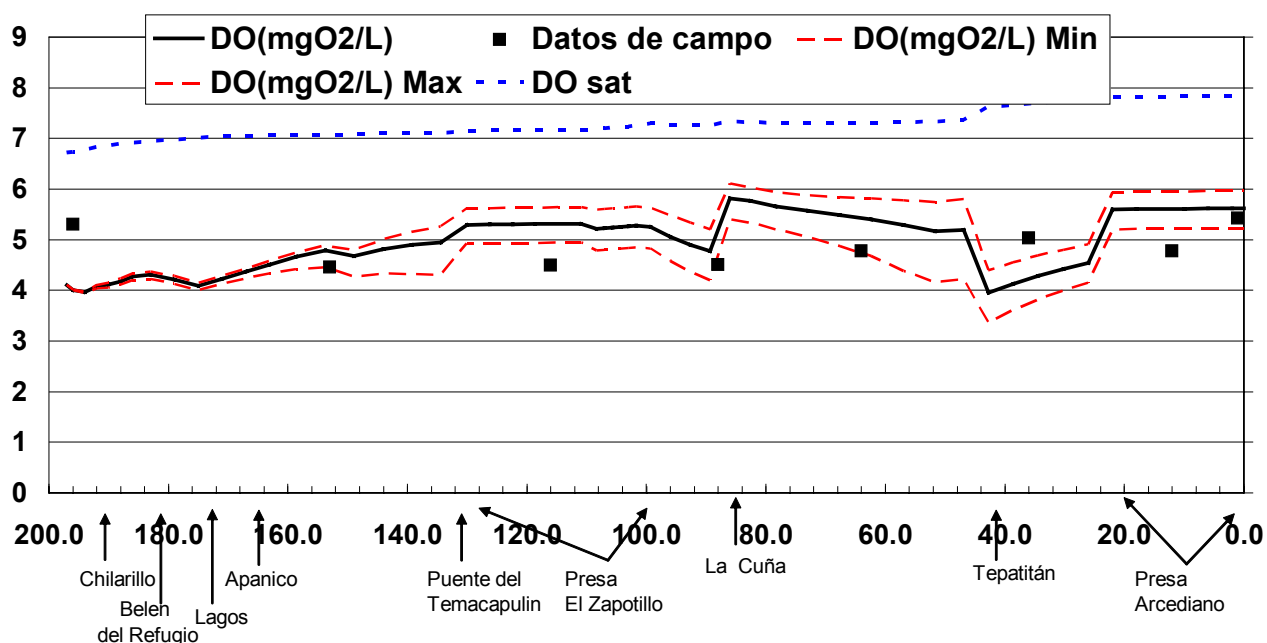


Figura 5-27 Nitrógeno en Simulación del Río Verde con Presas

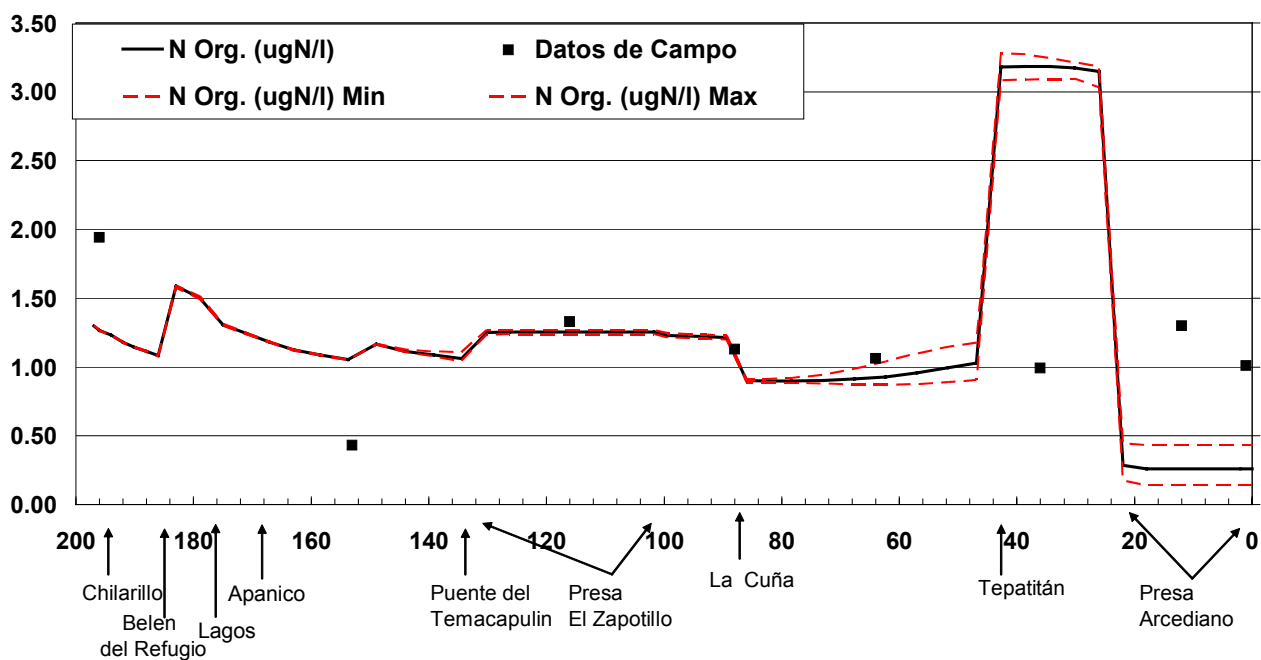


Figura 5-28 Nitratos en Simulación del Río Verde con Presas

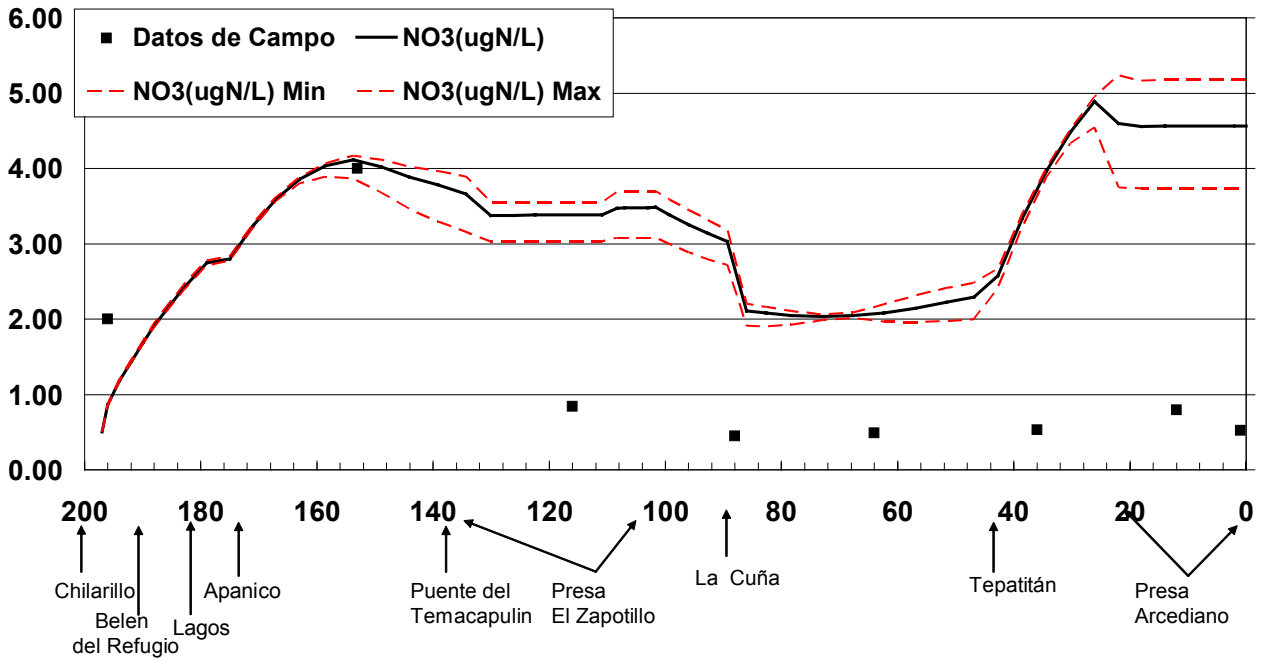
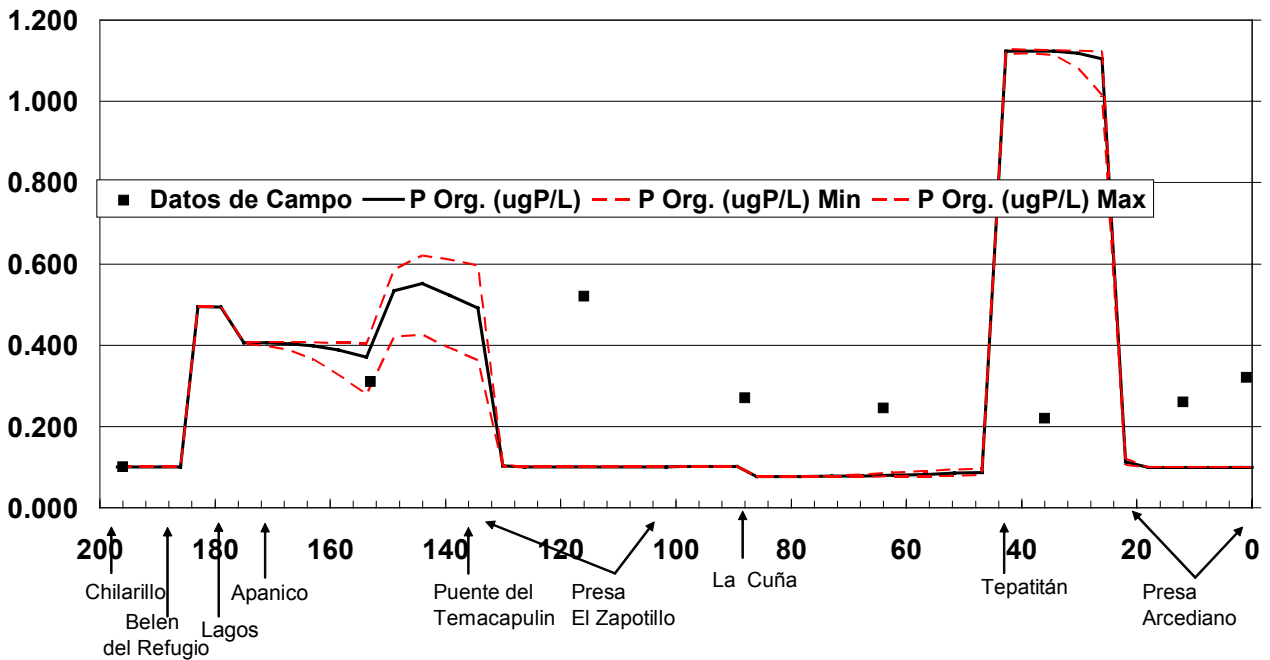


Figura 5-29 Fósforo Orgánico en Simulación del Río Verde con Presas



La información señala la importancia del control de contaminación generada en la zona de Tepatitlán en donde ya se tiene contemplada una PTAR para que los niveles de los contaminantes sobre el caudal ecológico no impacten con la fuerza con la que lo están haciendo debido a esta descarga.

### Referencias

---

<sup>1</sup> Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca; “Anteproyecto de Declaratoria de Clasificación para la Actualización de la Clasificación del Río Verde y la Parte Alta del Río Santiago”.

<sup>2</sup> AyMA Ingeniería y Consultoría (2005). “Estudio de Actualización de Clasificación del río Verde y la parte alta del río Santiago, Jalisco”. Elaborado para la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Jalisco.

<sup>3</sup> Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Diario Oficial de la Federación. “Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales”. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 6 de enero de 1997. Esta norma se complementa con la aclaración publicada en el mismo medio de difusión del día 30 de abril de 1997.

<sup>4</sup> Droste, L. 1997. “Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment”. 1<sup>st</sup> ed., Robichaud C. & Santor K., eds., John Wiley & Sons, Canada.

<sup>5</sup> NIZA, Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment of the Netherlands (2003). “Criteria for ecological hazard assessment of water discharges” en “The management of complex industrial water Discharges”, Institute of Water Quality Studies, South Africa.

<sup>6</sup> Environmental Protection Agency (2006). “QUAL2K: A Modeling Framework for Simulation River and Stream Water Quality (Version 2.04)”.