

# **Estudio de la contaminación del río y la salud pública en la cuenca del alto Santiago**

Autores:

Omar Arellano-Aguilar  
Laura Ortega Elorza  
Pablo Gesundheit Montero

México D.F. Julio 2012

El presente es un estudio elaborado para la Campaña de Tóxicos de Greenpeace México. En él se sistematiza la información disponible acerca del problema de contaminación del agua en la cuenca alta del Río Grande de Santiago y se hace un recuento histórico del conflicto socio-ambiental consecuente. Se presenta un análisis que explora la situación de salud pública en la zona y su relación con la contaminación de los cuerpos de agua. Se hace una propuesta de zonificación de riesgo y se ofrecen recomendaciones derivadas del análisis.

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1. La contaminación de cuerpos de agua y la evaluación de riesgo ambiental.....</b>                | <b>7</b>  |
| Problemas y enfermedades asociados a la contaminación de cuerpos   |           |
| Evaluación de riesgo ambiental   |           |
| Formulación del problema. Estudio de caso: el alto Santiago  |           |
| Cronología del conflicto socio-ambiental: El Salto y Juanacatlán   |           |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO 2. Justificación, descripción y objetivos del estudio.....</b>                                     | <b>14</b> |
| Objetivo general.  |           |
| Objetivos específicos.   |           |
| Etapas de trabajo.   |           |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO 3. Descripción y antecedentes de la zona de estudio.....</b>                                       | <b>18</b> |
| El área de estudio   |           |
| Presencia de contaminantes y la afectación a la salud de las comunidades ribereñas del Río Grande de Santiago. |           |
| Rutas de exposición a los contaminantes.   |           |
| Rutas de exposición en la zona de estudio.   |           |
| Antecedentes del problema de salud en la zona de estudio.  |           |
| <br>   |           |
| <b>Capítulo 4. Calidad del agua en el Río Grande de Santiago.....</b>  | <b>33</b> |
| Introducción   |           |
| Objetivos  |           |
| Métodos  |           |
| Resultados   |           |
| Registros de contaminantes en los sedimentos.  |           |
| Registros de calidad del agua: 1990-2012.  |           |
| Temperatura y potencial hidrógeno (pH): 1990; 2004-2012.   |           |
| Oxígeno disuelto: 2004-2012.   |           |
| Conductividad: 2005-2012.  |           |
| Nitrógeno amoniacal: 2005-2012.  |           |
| Fósforo: 2006-2012.  |           |
| Sólidos disueltos totales: 2005-2012.  |           |
| Sólidos suspendidos totales: 1990-2012.  |           |
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ): 1990-2012.  |           |
| Demanda química de oxígeno (DQO): 2005-2012.   |           |
| Metales pesados: 2006-2012   |           |
| Estudio de campo.  |           |

Resultados del muestreo.  
Potencial redox y análisis de conglomerados  
Discusión y conclusiones.

## Capítulo 5. Descargas industriales y municipales.....65

Introducción.  
Objetivos y método.  
Resultados.  
Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (RETC).  
Registros en el área de estudio  
Las descargas municipales en el área de estudio.  
Discusión y conclusiones

## Capítulo 6. Análisis de la situación de salud en El Salto y Juanacatlán.....81

Introducción.  
Justificación.  
Objetivos particulares.  
Método.  
    Poblaciones en la zona de estudio.  
    Tipo de estudio.  
    Antecedentes  
    Fuentes y procesamiento de la información.  
    Análisis exploratorio.  
    Consideraciones metodológicas.  
    Análisis comparativo por municipio y por región.  
    Consideraciones metodológicas.  
    Mortalidad proporcional por causas específicas en el período de estudio.  
Resultados  
Defunciones en la zona de estudio, 1995-2010  
Análisis exploratorio  
Análisis comparativo: por municipio y por región.  
Discusión y conclusiones

## Capítulo 7. Conclusión general y propuesta de zonificación de riesgo.....120

## Referencias.....126

Anexos.....134

ANEXO 1. Base de datos de calidad de agua (archivo digital)

ANEXO 2. Seguimiento hemerográfico sobre la identificación de la relación entre la contaminación del Río Grande de Santiago y la afectación a la salud de las comunidades ribereñas

ANEXO 3. Protocolo para toma de muestras de agua y determinación de parámetros fisicoquímicos, metales pesados , nitrógeno y fósforo

ANEXO 4. Reporte IMTA-CEA 2011

ANEXO5. Listado de grupos y enfermedades generales, con base en la CIE-10

ANEXO6. Listado de grupos de neoplasias malignas y malformaciones congénitas, con base en la CIE-10

ANEXO 7. Estimación de tasa de mortalidad específica por cuatrienios ( $TME_{i-f}$ )

## Contenido

### La contaminación del río y la salud pública en la cuenca del alto Santiago

El presente trabajo constituye el primer documento que ha reunido y analizado de manera exhaustiva la información que se ha publicado en torno al problema de contaminación en el Río Grande de Santiago. A continuación hacemos la descripción del contenido del documento *in extenso*. En el Capítulo 1 hacemos una introducción al problema de contaminación de los cuerpos superficiales, particularmente de los ríos. Además, describimos el modelo de Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA) y de salud en el que basamos este trabajo. En el Capítulo 2 presentamos la justificación, los objetivos y la descripción de las etapas de trabajo. En el Capítulo 3 describimos los antecedentes generales de la zona de estudio en términos de ambiente y salud. Los capítulos siguientes son en síntesis los resultados del trabajo. En el Capítulo 4 presentamos los datos históricos de calidad de agua del Río Grande de Santiago, los cuales provienen principalmente de los reportes de la Comisión Estatal de Agua de Jalisco (CEA Jalisco) y adicionalmente de diversos reportes que en su conjunto reflejan el proceso de contaminación que ha sufrido la zona en los últimos 20 años. Además, presentamos los resultados del trabajo de campo que llevamos a cabo con el objetivo de recabar información propia respecto a algunos de los parámetros de calidad de agua y contaminantes. En el Capítulo 5 identificamos, a partir de los datos obtenidos del Registro de Emisión y transferencia de contaminantes (RETC), las fuentes principales de contaminación en la zona de estudio. Listamos las industrias por volumen de descarga y generamos mapas temáticos. En el Capítulo 6 presentamos los resultados del análisis de de los datos que consultamos a través del Sistema Nacional de Información en Salud. Además de identificar las principales causas de muerte en la población probablemente expuesta a contaminantes, hicimos un análisis cuyo resultado permitió ajustar los datos con base en la proximidad al río y a las fuentes de contaminación. En el Capítulo 7 presentamos las conclusiones generales, una propuesta de zonificación de riesgo a la salud y una lista de recomendaciones para futuras acciones en la zona.

# CAPÍTULO 1

## La contaminación de cuerpos de agua y la evaluación de riesgo ambiental

### Problemas y enfermedades asociados a la contaminación de cuerpos de agua

La contaminación de los cuerpos de agua reduce la disponibilidad de agua limpia comprometiendo no sólo a los ecosistemas acuáticos, sino también a la seguridad alimentaria y salud humana. Los cuerpos de agua superficiales contaminados se han convertido en un factor de riesgo para las poblaciones ribereñas. En los últimos años, la presencia de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos volátiles, plaguicidas, fármacos, fertilizantes y otros se ha ligado a la incidencia de enfermedades como la insuficiencia renal, enfermedades de la piel y diversos tipos de cánceres (Vineis y Xun, 2008). En 2010, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) calificó la pérdida de ecosistemas acuáticos como una crisis a nivel global, que se agrava en países en desarrollo por la falta de un tratamiento adecuado de las aguas residuales de origen municipal e industrial, generando contaminación y escasez (Corcorant et al., 2010). En México el problema no es diferente, los principales cuerpos de la zona centro del país se encuentran fuertemente deteriorados (Cotler, 2010). También aquí se han encontrado asociaciones entre los niveles de contaminación y el deterioro en la salud tanto de las poblaciones humanas como de la biota acuática (Montero et al., 2006; Fall et al., 2007; Villalobos-Castañeda et al., 2010). En el Río Atoyac por ejemplo, se demostró que las poblaciones ribereñas presentan daño genético (Montero et al., 2006), asimismo los pobladores en la zona han denunciado un aumento en insuficiencia renal, diabetes, enfermedades cardiovasculares, cáncer de mama, dermatitis, abortos, malformaciones y problemas respiratorios en una mayor proporción en comparación con poblaciones alejadas al río (Palma, 2010). El problema de salud ocasionado por la contaminación de cuerpos de agua superficiales en México no se ha considerado un problema epidemiológico porque en gran medida no se cuenta con información y estudios integrales que permitan analizar si verdaderamente existe una relación causal entre la degradación ambiental de los cuerpos de agua y el deterioro en la salud. También por la falta de un programa de monitoreo de calidad de agua que incluya un amplio espectro de contaminantes. En países como E.U.A, China, Japón, Finlandia, Italia, Inglaterra y Holanda, en donde se cuenta con sistemas de información tanto de salud como ambiental de largo plazo, ha sido posible elaborar mapas de riesgo de salud derivados de la presencia de contaminantes en los cuerpos de agua (Ohe et al., 2004; Nakagawa et al., 2006; Fall et al., 2007; Salo et al., 2008; Richardson et al., 2009; Hitt y Hendryx, 2010). La posibilidad de contar con información salud-ambiente permite generar

políticas específicas, más allá de las acciones de saneamiento y atención médica habituales, que reduzcan el riesgo de exposición a sustancias tóxicas en aguas continentales.

Cuando existen deficiencias en las políticas de vigilancia ambiental y de regulación en las descargas de sustancias se puede incurrir en una subvaloración de los riesgos para el ambiente y la salud. La pérdida de ecosistemas genera escenarios de escasez de recursos y pobreza (Butler et al., 2005). La desigualdad en el acceso a los recursos naturales genera conflictos sociales que pueden afectar la estabilidad de una región o país (Dixon, 2010). En países como México lo anterior se suma a un escenario de por sí desfavorable debido a la falta de planificación. En México, diversas asociaciones civiles dan cuenta de una crisis ambiental en torno al agua (Cotler, 2010; Toledo, 2011). Veintiuna de las 728 cuencas hidrológicas del país, que coinciden con las zonas más densamente pobladas, están consideradas fuertemente contaminadas (Toledo, 2011). Evidencia de este problema es la Asamblea Nacional de Afectados Ambientales (ANAA), que agrupa a 130 distintos grupos sociales cuyos problemas en su mayoría giran en torno al agua (<http://www.afectadosambientales.org/>). En 2011, la ANAA elaboró una petitoria al Tribunal Latinoamericano del Agua como parte de las acciones para evidenciar la crisis hídrica en México. Por lo anterior se requiere, entre otras cosas, generar y analizar la información que permita identificar zonas de riesgo de salud por contaminación ambiental.

## **Evaluación de Riesgo Ambiental**

La Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA) es el procedimiento por el cual se pueden identificar los factores de daño potencial no solo en los componentes de un ecosistema, sino también en la salud humana. Por definición, la ERA es el uso de datos y observaciones científicas para definir los efectos a la salud o a los ecosistemas, causados por la exposición a materiales o situaciones peligrosas (NAS 1983). La ERA es un instrumento que permite tomar decisiones basadas en un método sistemático, con lo cual los recursos económicos y humanos pueden ser dirigidos hacia la atención de los peligros más significativos (INE 2003). De acuerdo con el INE (2003), las preguntas a contestar en una ERA son las siguientes:

1. ¿Existe un riesgo por exposición a sustancias químicas?
2. ¿Qué se sabe de ese riesgo?
3. ¿Quién puede verse más afectado por el riesgo?

Para darle respuesta a las preguntas anteriores es necesario contar con una base de datos completa que permita caracterizar de manera integral la exposición a sustancias tóxicas y los efectos en la biota.

Actualmente, el diseño de la ERA está basado en el modelo conceptual de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos (Suter II, 2008). Este modelo contempla tres componentes principales: I) formulación del problema, II) caracterización de la exposición y de los

efectos ecológicos y de salud y III) caracterización del riesgo. Además contempla dos componentes que derivan de la caracterización del riesgo: IV) comunicación del riesgo y V) manejo del riesgo (Fig. 1).

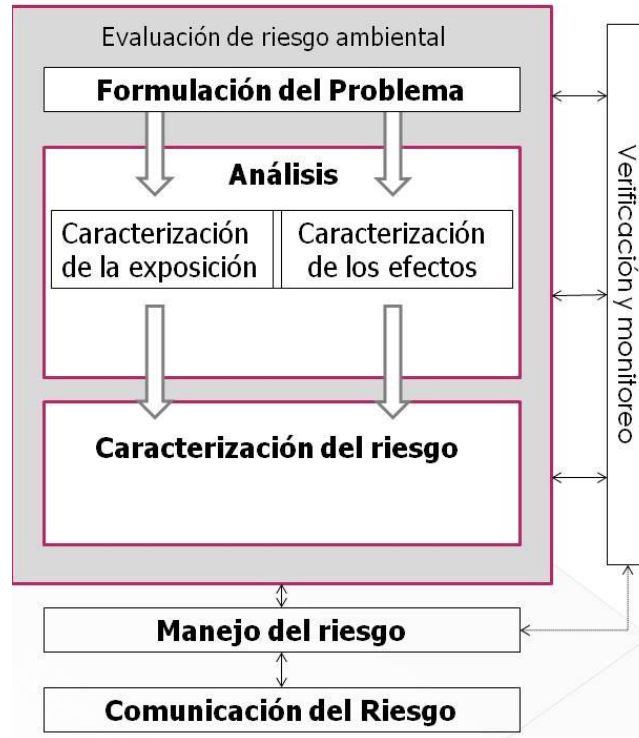


Figura 1. Diseño de la Evaluación de Riesgo Ambiental (Suter II, 2008).

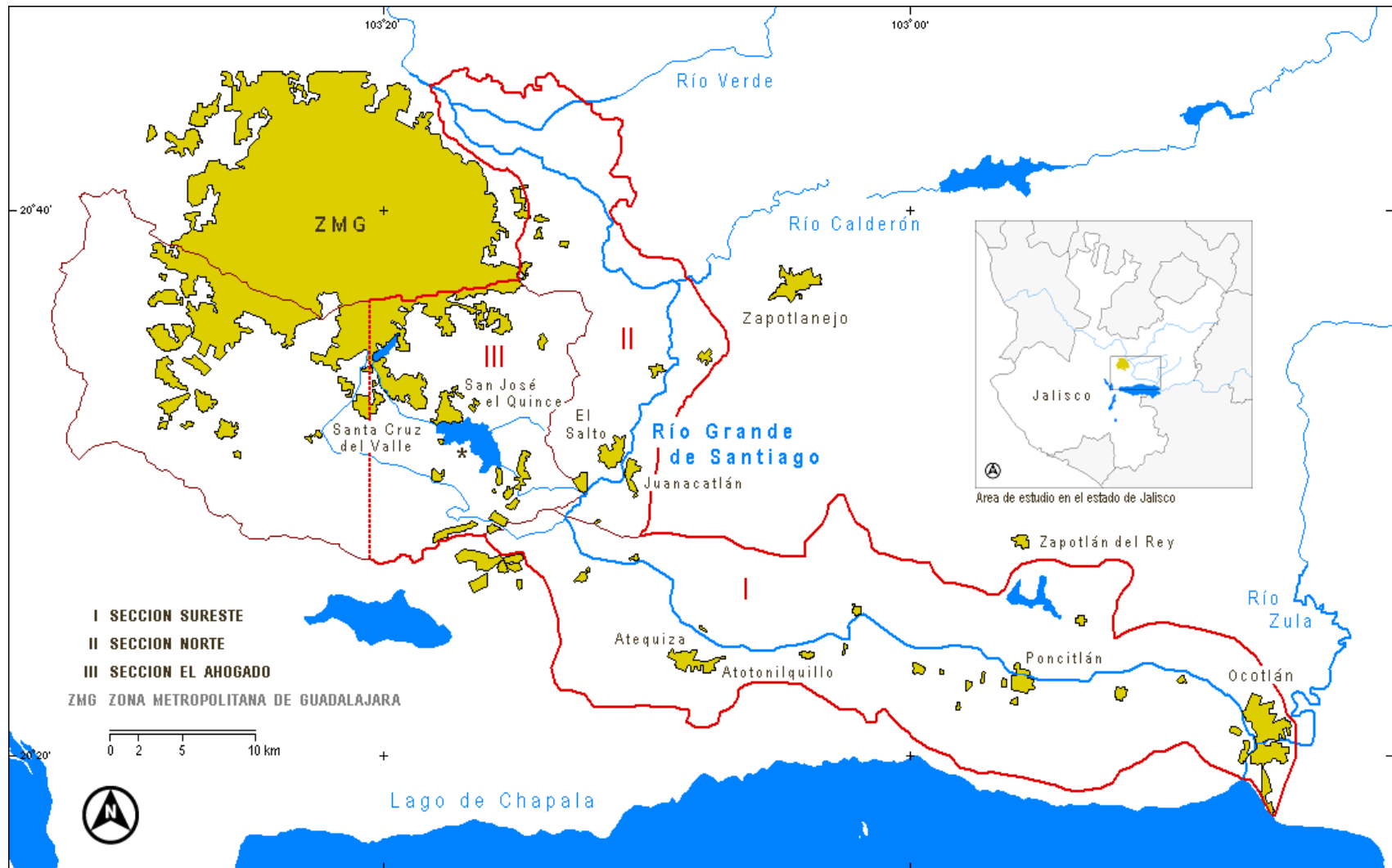
La formulación del problema o componente I consiste en identificar el problema y los objetivos de la evaluación de riesgo. De acuerdo con van Leeuwen et al. (1998), en la fase de formulación del problema se deben establecer los objetivos, amplitud, y parte central del mismo, así como los resultados del análisis que serán de utilidad para la caracterización del riesgo. Una vez identificado el problema se deben definir los aspectos técnicos que se requieren para la caracterización y análisis, que constituyen el componente II. La caracterización incluye la evaluación, cuantificación e interpretación de los efectos adversos potenciales, así como de la magnitud del efecto, la relevancia ecológica y la incertidumbre asociada con cualquier conclusión o predicción a la que se llegue (Lipton et al., 1998). Para caracterizar la exposición y los efectos es necesario reunir la mayor cantidad de información disponible del sitio en donde se llevará a cabo la evaluación de riesgo. Bradbury et al. (1998) propusieron ciertos aspectos que se deben cubrir, por ejemplo, los aspectos ambientales del sitio, la distribución de los contaminantes, sus características químicas y la información epidemiológica; datos que deben establecer patrones de distribución e incidencia de efectos en la salud asociados a la exposición. La calidad de los datos es determinante para que los resultados de la ERA sean robustos. Es por ello que el diseño

retrospectivo de la evaluación de riesgo debe acompañarse de estudios de campo recientes con el objetivo de verificar la situación actual del sitio. El componente final de la ERA es la caracterización del riesgo, cuyo objetivo es integrar la información de tal manera que permita una discusión respecto a los factores de riesgo y sus alcances. En el diagnóstico final, los tomadores de decisiones deberán planear las acciones correspondientes para prevenir, amortiguar y comunicar el daño potencial de la exposición a contaminantes.

## **Formulación del problema. Estudio de caso: el alto Santiago**







En el presente trabajo nos enfocamos en la cuenca alta del Río Grande de Santiago, Jalisco (Mapa 1). En la zona se ha presentado un fuerte grado de contaminación y deterioro ambiental. Los antecedentes de este deterioro están en el proceso de industrialización y urbanización de la década de 1940 en las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara (Rodríguez y Cota, 2006). En 1953, el Programa de Parques y Ciudades Industriales creó casi 100 complejos, cuatro de ellos localizados en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG). El primero en instalarse, en 1967, fue el Parque Industrial Guadalajara, ubicado en el municipio de El Salto. El objetivo de este parque fue desconcentrar fábricas ubicadas en las zonas metropolitanas del país, principalmente de la Ciudad de México y Guadalajara (Rodríguez y Cota, 2006). El establecimiento de las industrias ocurrió en los municipios de Guadalajara, El Salto, Tlajomulco de Zúñiga, Ixtlahuacán de los Membrillos, Tlaquepaque y Zapotlanejo. Para 1984 la zona contaba con más de 70 industrias instaladas en el corredor industrial, que representaban cerca del 70% de las existentes en Jalisco, y en 1998 se alcanzó la cifra de 16,730 industrias (Durán y Torres, 2009), lo que ha significado beneficios económicos importantes para la región: ganancias de 220 millones de dólares solo para 2011 ([www.aisac.com.mx](http://www.aisac.com.mx)). Sin embargo, de acuerdo con esta misma publicación, la concentración industrial motivó la urbanización de la zona circunvecinas de la ciudad de Guadalajara; mancha urbana que en la actualidad ha alcanzado los municipios de Tonalá, Tlaquepaque, El Salto e incluso Tlajomulco de Zúñiga. Sólo en el municipio de El Salto hubo un incremento de 38,281 pobladores en 1990 a 111,436 habitantes en 2005 (Plan Municipal de Desarrollo 2010).

La industrialización del alto Santiago ha demandado recursos hídricos y espacio. Las fuentes de contaminación se han concentrado y el vertido de los contaminantes ha tenido como principal destino el Río Grande de Santiago (Durán y Torres, 2009). La problemática ambiental de El Salto está reconocida en el Plan Municipal de Desarrollo 2010-2012 donde se identifica como principal problema el que “no se cuenta con un plan integral de tratamiento de aguas residuales que responda a la contaminación”.



**Mapa 1 Principales rasgos hidrográficos y asentamientos en la zona de estudio**

**SIMBOLOGIA**

- |  |  |
|--|--|
|  Ríos y canales                           |  Areas urbanas    |
|  Límite de la zona de estudio             |  Lagos y presas   |
|  Límite de la Cuenca de El Ahogado y POFA |  Presa El Ahogado |

**FUENTES**

PERIODICO OFICIAL DEL ESTADO DE JALISCO No. 32  
 CARTAS TOPOGRAFICAS 1:50 000 INEGI F13D65 F13D66 F13D76 F13D77

**ESPECIFICACIONES**

PROYECCION: UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

ESCALA 1:325 000

La actividad industrial en la zona genera emisiones de sustancias químicas en aire, suelo y agua. Desde hace más de 30 años el Río Grande de Santiago recibe aguas residuales de los municipios de Guadalajara y El Salto provenientes del arroyo El Ahogado y canal Las Pintas. A lo anterior se suman las escorrentías de las zonas agrícolas y los lixiviados de los basureros municipales San Gaspar, Coyula y Los Laureles (Bernache, 2009). En tan solo tres décadas el alto Santiago se ha transformado de ser una zona agrícola y de pesca local a una zona industrial y de comercio. Como resultado, se ha detonado un conflicto socio-ambiental que en los últimos seis años se ha agudizado y que a continuación se resume.

## **Cronología del conflicto socio-ambiental: El Salto y Juanacatlán**

En 2002 ocurrieron las primeras manifestaciones de descontento a causa de la contaminación del Río Grande de Santiago en El Salto y Juanacatlán. Las comunidades refieren un aumento de enfermedades cuyo origen atribuyen a la presencia de sustancias tóxicas en el río. Al año siguiente, la Gerencia Regional de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) identificó alrededor de 280 descargas, de las cuales 266 vertían a las aguas del Río Grande de Santiago (AYMA 2003). De acuerdo con el estudio de AYMA Ingeniería y Consultoría (2003), el 36% de las descargas provienen de la industria química-farmacéutica, le siguen la industria de alimentos y bebidas con un 15 % y las industrias textil y papelera con 15 y 12.3%, respectivamente. Particularmente, en la Presa El Ahogado y Arroyo Seco se encuentran instalados 10 parques y zonas industriales que descargan directamente y que tienen como destino el Río Grande de Santiago (AYMA 2003).

En 2007 el Tribunal Latinoamericano del Agua presentó el caso “Deterioro y contaminación del Río Santiago. Municipios de El Salto y Juanacatlán, Estado de Jalisco, República Mexicana”. En 12 incisos el documento resume la situación ambiental presente en la zona. Destaca que el corredor industrial de El Salto descarga residuos tóxicos al Río Grande de Santiago y que junto con las aguas residuales de la ZMG han generado el deterioro ambiental y una situación de riesgo para la salud de los pobladores de los municipios de El Salto y Juanacatlán (TLA 2007). En febrero de 2008 ocurrió la muerte del niño Miguel Ángel López Rocha cuando cayó al río en la confluencia del Arroyo El Ahogado y el Río Grande de Santiago y presuntamente se intoxicó con arsénico aunque las autoridades estatales inicialmente lo negaron (La Jornada Jalisco 07/02/07; La Jornada 14/02/08). Las autoridades en materia de salud y de agua no validaron que el contacto y la ingestión del agua del río pudiera ocasionar tal grado de envenenamiento, señalando además la falta de evidencia de la caída del niño al río (McCuligh, 2010). Lo anterior generó un conflicto mediático sobre la responsabilidad de la muerte del niño y de la contaminación del río.

En 2009 la Comisión Estatal de Derechos Humanos de Jalisco (CEDHJ) emitió la recomendación 1/2009, dirigida al Gobernador del estado, al Director de la Comisión Estatal del Agua (CEA Jalisco), al Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA) y a los ayuntamientos de 14 municipios para que, en resumen, tuvieran un control definitivo de la contaminación del agua del Río Grande de Santiago e implementaran mecanismos para su saneamiento. En septiembre de 2010, la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo

Sustentable (SEMADES), en coordinación con la Secretaría de Salud Jalisco (SSJ) y la CEA Jalisco publicaron el decreto de un Polígono de Fragilidad Ambiental de la Cuenca El Ahogado (Periódico Oficial del Edo. de Jalisco núm. 32), cuyo objetivo es atender las recomendaciones de 2009 de la CEDHJ. Sin embargo, hasta la fecha el descontento de las comunidades afectadas por la contaminación del Río Grande de Santiago y del Arroyo El Ahogado persiste, debido a que el avance en los objetivos de saneamiento de la cuenca El Ahogado ha sido escaso.

En mayo de 2012 se puso en funcionamiento la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales 'El Ahogado' y un cogenerador de biogás. De acuerdo con informes consultados en el portal de la CEA Jalisco (<http://www.ceajalisco.gob.mx/>), la inversión del proyecto ascendió a casi 859 millones de pesos. De acuerdo con los informes, con esta medida se asegura la recuperación y restauración ecológica de la Presa El Ahogado, con lo que se atiende la demanda social urgente de saneamiento del arroyo y presa, así como del Río Grande de Santiago, se mejora sustancialmente la calidad de los cuerpos de agua y se propicia el desarrollo de la flora y fauna acuática<sup>1</sup>.



Vista de la cascada El Salto, Jalisco. Diciembre de 2011

---

<sup>1</sup> Presentación ppt. Planta de tratamiento de aguas residuales "El Ahogado", CEA-Jalisco.

## CAPITULO 2

### Justificación, descripción y objetivos del estudio

El decreto del Polígono de Fragilidad Ambiental (POFA) de la zona de la cuenca El Ahogado puede interpretarse como la admisión gubernamental del problema de contaminación ambiental. La información al respecto de este problema y sus derivaciones se encuentra dispersa y proviene de fuentes de muy diversa índole: tanto dependencias de gobierno municipales, estatales y federales han dado cuenta de las condiciones ambientales del Río Grande de Santiago, como asociaciones civiles que han generado información propia en donde reportan las enfermedades y el deterioro ambiental que perciben. Asimismo, instituciones académicas como la Universidad de Guadalajara (UdeG) y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO) han generado información respecto a los niveles de contaminación e incidencia de enfermedades en la zona de El Salto. Por último, consultorías privadas han elaborado diagnósticos ambientales en donde han reunido información sobre las fuentes y tipo de contaminantes. De manera tal, que El Salto se ha convertido en los últimos años en un caso emblemático de la defensa de los derechos al agua y a la salud en México. Sin embargo, las tres preguntas fundamentales necesarias para clarificar la situación no se han contestado: ¿existe un riesgo por exposición a sustancias químicas?, ¿qué se sabe de ese riesgo? y ¿quién puede verse más afectado por el riesgo?

En la lógica de la ERA propuesta por Suter II (2008), en este trabajo nos propusimos identificar las zonas de mayor riesgo para la salud, analizando por un lado los niveles de contaminación en el Río Grande de Santiago y las fuentes de exposición a los mismos y por otro, si es que efectivamente los datos de salud a nivel local reflejan la problemática que las comunidades denuncian. A continuación presentamos los objetivos de este estudio.

#### Objetivo general

Analizar los factores de riesgo ambiental y de salud en la cuenca del alto Santiago, con énfasis en la contaminación del agua.

#### Objetivos específicos

1. Realizar una síntesis de la información disponible en las bases de datos oficiales, publicaciones científicas y reportes técnicos, para su interpretación en términos de la interrelación salud-ambiente.
2. Caracterizar el comportamiento histórico de la calidad de agua en el Río Grande de Santiago y llevar a cabo un muestreo de verificación.
3. Caracterizar las descargas de contaminantes de origen industrial en los cuerpos de agua superficiales de la zona.

4. Caracterizar el comportamiento de la morbilidad y mortandad por las enfermedades asociables a contaminación ambiental en el área de estudio.
5. Integrar los datos resultantes de las caracterizaciones previas para su análisis en el contexto de la evaluación de riesgo ambiental y de salud.
6. A partir de los resultados obtenidos, generar recomendaciones a autoridades, poblaciones afectadas y responsables del deterioro ambiental del alto Santiago para reducir la exposición a contaminantes ambientales.

## **Etapas de trabajo**

El presente trabajo fue dividido en tres etapas principales cuyos objetivos fueron: 1) reunir la mayor cantidad de información disponible para dimensionar el problema ambiental en la zona, 2) verificar en campo algunos de los parámetros de calidad de agua y 3) establecer vínculos entre la información ambiental y de salud. De esta manera obtuvimos distintos tipos de datos (Tabla 1). Las principales fuentes de información fueron las siguientes: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Secretaría de Salud (SS), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (RETC), Gobierno del Estado de Jalisco, Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (SEMADES), Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA Jalisco), Ayuntamiento de El Salto, Plan Municipal de Desarrollo 2010-2012, Comisión Estatal de Derechos Humanos de Jalisco (CEDHJ), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad de Guadalajara (UdeG) y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO).

### **Etapla 1. Documentación del problema**

Aunque en la elaboración de este trabajo consideramos documentos anteriores a la década de los noventa, concentramos la búsqueda de información principalmente en el período de 1990 a 2012. Reconocimos tres componentes del problema: calidad del agua, fuentes de contaminación y salud.

Respecto al tema de la calidad del agua reunimos información de aproximadamente 305 registros de 48 parámetros físicoquímicos disponibles para el período mencionado (1990, 2004-2012; ver Anexo 1). No encontramos datos para todos los años y tampoco se reporta el mismo conjunto de parámetros en todos los registros. En la mayoría de los estudios los puntos de muestreo están georreferidos, lo que nos permitió el agrupamiento de los datos en ocho estaciones de muestreo en el área de estudio.

Por otro lado, obtuvimos la información respecto de las fuentes de contaminación a partir de los reportes del RETC. Seleccionamos a las industrias asentadas en los municipios del área de estudio. A partir de la georreferenciación y volúmenes de descarga reportados por las

industrias, elaboramos mapas temáticos que permiten visualizar espacialmente la cobertura y magnitud de la actividad industrial en la zona.

Finalmente, para el componente de salud elaboramos un listado de enfermedades reportadas en la zona a partir de estudios e informes que han documentado los padecimientos asociables con la contaminación de los cuerpos de agua. También incluimos aquellas enfermedades que los habitantes de la zona perciben como resultantes de la contaminación. Para no incurrir en un sesgo metodológico, ampliamos el listado de enfermedades con base en la Clasificación Internacional de Enfermedades de la Organización Mundial de la Salud (CIE-10). En total reunimos información de 45 tipos de enfermedades, 52 tipos de malformaciones congénitas y 88 tipos de tumores malignos, los cuales agrupamos por municipio, morbilidad, mortandad, sexo y edad (Tabla 1).

Tabla 1. Tipos de datos analizados.

| Agua   | Fuentes de contaminación  | Salud   | Trabajo de campo   |
|--|---|---|--|
| Registros históricos de la calidad de agua y sedimentos (1990-2012). | Asentamientos humanos, zonas industriales.  | Registros históricos (1990-2010) de morbilidad y mortandad por municipio.   | Visita a zona del alto Santiago.   |
|  | Tipos de contaminantes, y magnitud en las descargas industriales al Río Grande de Santiago. | Clasificación de enfermedades por tipo: 45 enfermedades y 52 tipos de malformaciones, 88 tipos de tumores malignos. | Monitoreo <i>in situ</i> de 23 parámetros de calidad de agua en 12 estaciones de muestreo. |

## Etapa 2. Verificación en campo

Esta etapa consistió en dos visitas a la zona de estudio. En la primera (diciembre 2011) verificamos la georreferenciación e identificamos las estaciones de muestreo reportadas en los informes de la CEA Jalisco. Realizamos un recorrido de reconocimiento en la zona de la Cuenca El Ahogado y Arroyo Las Pintas, que incluyó a las industrias y parques industriales, zonas agrícolas y poblados, además de hacer un registro fotográfico y verificar los accesos a los sitios de muestreo (Fig.1). En una segunda visita (febrero 2012) al Río Grande de Santiago, llevamos a cabo un muestreo de 23 parámetros físicoquímicos del agua.

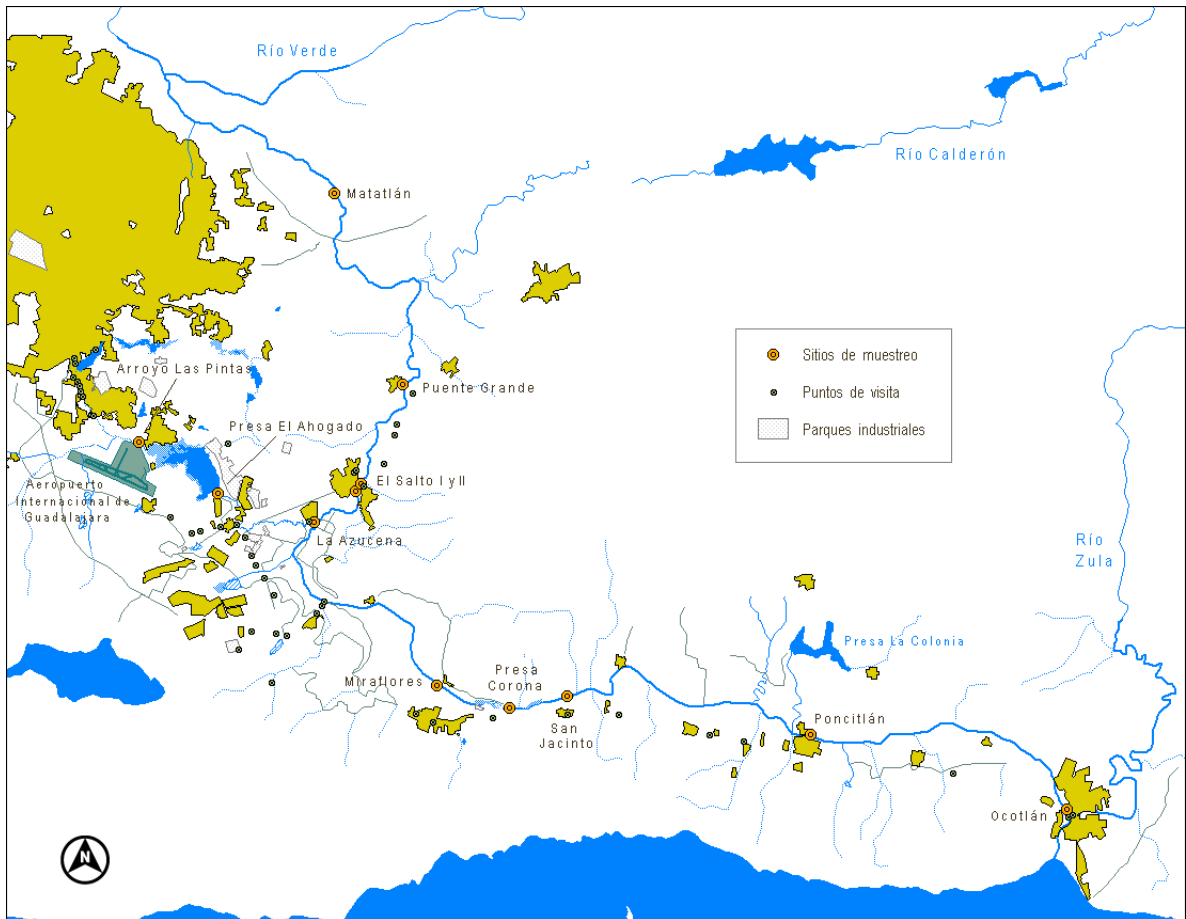


Figura 1. Puntos visitados, sitios de muestreo y parques industriales en la zona de estudio

### Etapa 3. Análisis de datos y obtención de resultados

Dividimos el análisis de los resultados en tres componentes: calidad de agua, fuente de contaminación fija y salud. A partir de los resultados y de la literatura científica relevante, integramos la información cruzando los tres componentes para elaborar una propuesta de zonificación de riesgo ambiental y un listado de recomendaciones. A continuación se presentan a manera de capítulos los resultados del presente estudio.

## CAPÍTULO 3

### Descripción y antecedentes de la zona de estudio

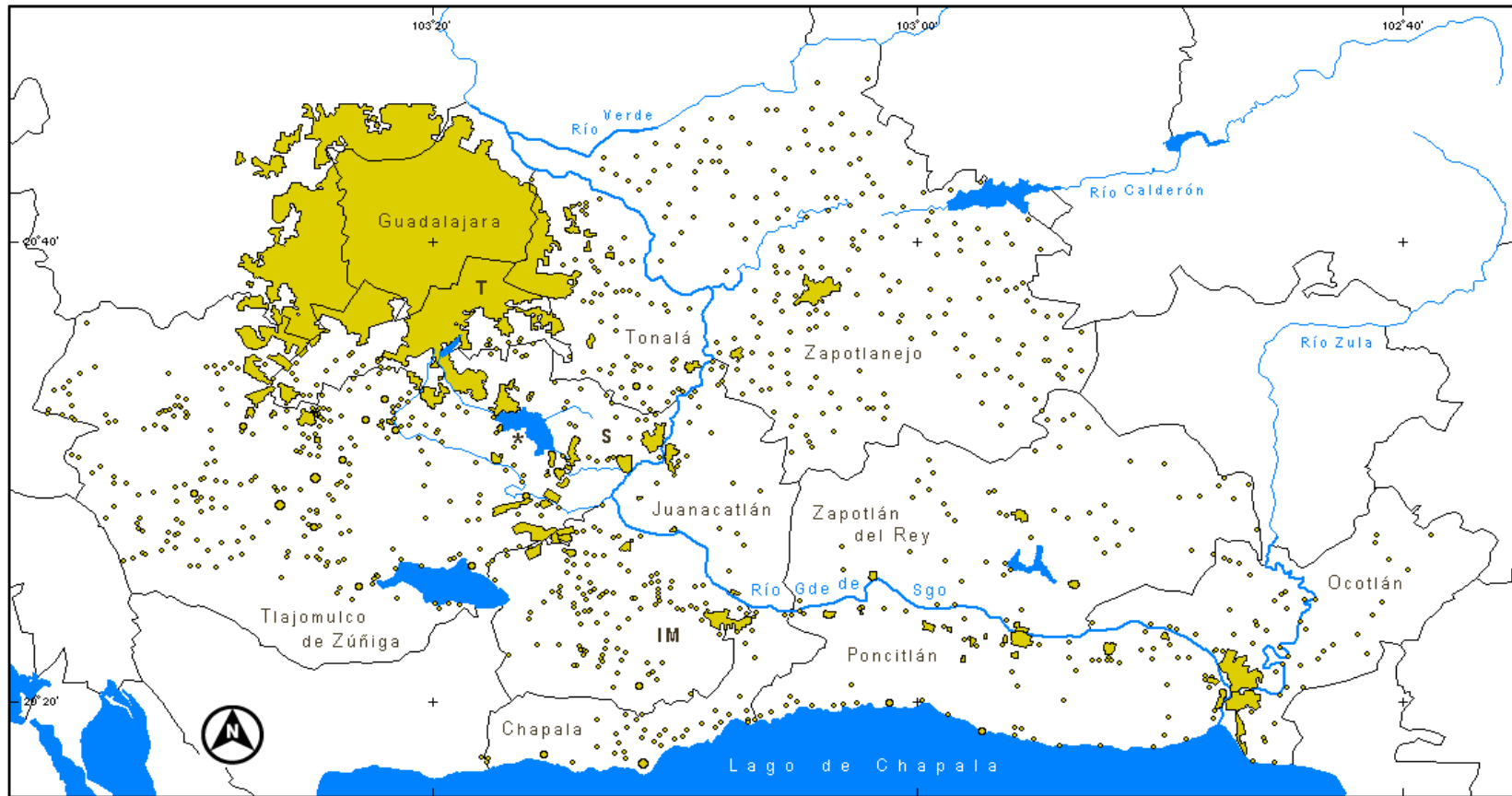
#### El área de estudio

El área de estudio de este trabajo comprende el área decretada como Polígono de Fragilidad Ambiental (POFA) por el Gobierno del Estado de Jalisco (Periódico Oficial del Edo. de Jalisco núm. 32) más una sección correspondiente al recorrido del Río Grande de Santiago desde su nacimiento en el Lago de Chapala hasta el extremo sureste de dicho polígono; llamada en lo subsecuente Sección Sureste. El POFA a su vez está compuesto por la cuenca de la Presa El Ahogado y una sección correspondiente al recorrido del río desde que recibe al canal Las Pintas hasta poco después de la incorporación del Río Verde; en lo subsecuente, Sección Norte. Para fines prácticos delimitamos al área de estudio longitudinalmente, aproximadamente en el límite oeste del Aeropuerto Internacional de Guadalajara, pero es conveniente recordar que dentro de una cuenca, como en este caso la cuenca de la Presa El Ahogado, hay conectividad hídrica. El área de estudio así definida incluye parcialmente a 13 municipios (de sureste a noroeste): Ocotlán, Poncitlán, Zapotlán del Rey, Chapala, Juanacatlán, Ixtlahuacán de Los Membrillos, Tlajomulco de Zúñiga, El Salto, Tlaquepaque, Tonalá, Zapotlanejo, Guadalajara e Ixtlahuacán del Río. El único municipio contenido completamente dentro del área de estudio es El Salto (Ver Mapas 1 y 2).

Esta zonificación corresponde de manera general a la forma de la ribera, uso de suelo en la zona y fuentes de contaminación asociadas. En la Sección Sureste, el río atraviesa una llanura dedicada primordialmente a la agricultura, flanqueada en ambos lados por cerros con remanentes de la vegetación original. La ribera en esta zona es plana y el río está expuesto y es fácilmente accesible. Los poblados más importantes en esta sección son Ocotlán (83,769 habitantes), Cuitzeo (5,603 hab.), Poncitlán (13,581 hab.), Atequiza (6,498 hab.) y Atotonilquillo (7,249 hab.). La densidad de instalaciones industriales es relativamente baja, pero se encuentran plantas de importancia, pertenecientes a Nestlé México, Grupo Celanese (ambas en Ocotlán) y Huntsman Internacional de México (antes CIBA Especialidades Químicas de México). Poco antes de la Presa Corona, ubicada cerca de Atotonilquillo, inicia el canal Zapotlanejo, utilizado con fines de riego. Después de la incorporación del canal Las Pintas, que conduce desechos municipales de la Zona Metropolitana de Guadalajara (aprox. 0.6% del total; CONAGUA<sup>2</sup>), el río atraviesa una zona más densamente poblada y en la que se han establecido importantes parques industriales. En el margen oeste del río se encuentran varios fraccionamientos y desarrollos habitacionales recientes o en construcción. Poco después de recibir al Canal Las Pintas, el río recibe al Arroyo El Ahogado, que proviene de la presa del mismo nombre y transporta una mezcla de desechos industriales y municipales.

---

<sup>2</sup> <http://www.cna.gob.mx/>



**Mapa 2 Municipios y asentamientos en la zona de estudio**

**SIMBOLOGIA**

|  |                  |  |                          |    |                               |
|--|------------------|--|--------------------------|----|-------------------------------|
| —  | Límite municipal | <span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> | Áreas urbanas            | *  | Presa El Ahogado              |
| —  | Ríos y canales   | •  | 1- 4999 habitantes       | T  | Tlaquepaque                   |
| <span style="background-color: blue; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> | Lagos y presas   | •  | 5000 - 14999 habitantes  | S  | El Salto                      |
|  |                  | •  | 15000 - 29999 habitantes | IM | Ixtlahuacán de los Membrillos |

**FUENTES**

CARTAS TOPOGRAFICAS 1:50 000 INEGI F13D65 F13D66 F13D76 F13D77  
 Características demográficas a nivel municipal de la República Mexicana, 1990. CONABIO 2010  
 Censo 2010, Consejo Estatal de Población, Jalisco

**ESPECIFICACIONES**

PROYECCION: UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

ESCALA: 1:400 000

En el arroyo y presa en este sistema ocurre la mayor concentración de contaminantes del área de estudio. Los asentamientos más importantes en esta sección son el Fraccionamiento Rancho Alegre (8,441 hab.), El Capulín (8,724 hab.), La Alameda (9,013 hab.), Zapote del Valle (6,269 hab.), San José del Castillo (15,946 hab.), San José El Quince (17,669 hab.), San José El Verde (16,275 hab.), Santa Cruz del Valle (26,866 hab.), Las Pintitas (26,500 hab.), Las Pintas (22,838 hab.) y la zona sureste de Tlaquepaque (totalmente conurbada con Guadalajara). Unos kilómetros más adelante de la entrada del Arroyo El Ahogado, ya dentro de la Sección Norte, se encuentra la cascada El Salto de Juanacatlán, a partir de la cual el río entra en una cañada que se hace progresivamente más profunda. A orillas de esta caída se encuentran los poblados de El Salto (21,644 hab.) y Juanacatlán (9,133 hab.). Otros poblados de importancia en esta sección son la zona habitacional Galaxia Bonito Jalisco (9,082 hab.), Puente Grande (5,664 hab.), Coyula (29,674 hab.), el extremo este de Tonalá (totalmente conurbada con Guadalajara) y el Centro de Readaptación Social (CERESO) de Puente Grande (13,071 internos). Tanto la densidad poblacional como la industrial disminuyen hacia el norte en esta sección, en la que, en cambio, se concentra la actividad pecuaria de la zona de estudio. Después de atravesar la población de Puente Grande, la cañada por la que fluye el río se hace más profunda y atraviesa un área dedicada a la agricultura. Unos kilómetros más adelante recibe al Arroyo Zapotlanejo y Río Calderón y después se aproxima al límite noreste de la zona conurbada de Guadalajara por su margen izquierda y a una zona de baja densidad poblacional y poco alterada por su margen derecha, hasta la confluencia con el Río Verde.

El comportamiento del Río Grande de Santiago y cuerpos de agua asociados en el tramo Chapala-Río Verde ha sido profundamente alterado. Sobre el cauce principal se encuentran presas de almacenamiento y derivadoras que regulan o desvían su flujo para sustentar actividades humanas: las presas Ocotlán, Poncitlán, Corona, El Salto, Puente Grande y Colimilla. Sobre el Arroyo El Ahogado se encuentra la presa del mismo nombre. Adicionalmente se impiden los aportes mayores del Lago de Chapala y del Río Zula, y otros menores como son el del Arroyo Agua Fría (contenido por la Presa La Colonia), Arroyo Zapotlanejo y Río Calderón (contenido por la presa Ing. Elías González Chávez). Como resultado, tanto el volumen de agua que fluye por el río como su velocidad se han visto severamente disminuidos. Estas alteraciones tienen efectos secundarios como la disminución en la oxigenación del agua y la facilitación del establecimiento de 'lirio' acuático (*Eichornia crassipes*), que cubre totalmente varios tramos del río. Muy probablemente la densidad elevada de *E. crassipes* responde también al enriquecimiento de nutrientes, producto tanto de las descargas puntuales de aguas municipales como de las descargas difusas que arrastran fertilizantes de las tierras de cultivo.

Actualmente la contaminación en el río es grave, incluso severa, de acuerdo con lo reportado por la CEA Jalisco y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (ver Capítulo 4). Desde 2009, la CEA Jalisco lleva a cabo un monitoreo mensual de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados en 13 sitios de muestreo sobre el Río Grande de Santiago, el Arroyo El Ahogado y el Río Zula.

Dentro del área de estudio existen actualmente dos plantas potabilizadoras y seis plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs), incluyendo la recientemente inaugurada

planta de El Ahogado, la cual es la de mayor capacidad en la zona. Todas las plantas tratan únicamente aguas de origen municipal.

En el decreto del POFA se publicó el acuerdo mediante el cual, textualmente: “Se emiten los criterios ambientales que deberán observarse para la protección ambiental del polígono con influencia en la zona de la cuenca El Ahogado” y se define espacialmente dicho polígono, así como se declaran de observancia obligatoria los siguientes criterios:

#### **Criterios de observancia obligatoria**

*Que se establezcan disposiciones jurídico-administrativas que condicionen las autorizaciones o renovaciones de giros comerciales, industriales o de servicios dentro del POFA, a la instalación de tecnología para el tratamiento de las aguas residuales dentro de sus instalaciones en aquellos casos que no se satisfagan las normas oficiales mexicanas.*

*Que los municipios lleven a cabo la definición y establecimiento de zonas intermedias de salvaguarda.*

*Que la SEMADES y la CEA coadyuven con los municipios en la conformación y, en su caso, actualización de la información del registro municipal de descargas a las redes de drenaje y alcantarillado, para su posterior integración al registro estatal y nacional de descargas...*

*Que se establezcan disposiciones jurídico-administrativas[...] encaminadas a garantizar que todas las actividades industriales realizadas en el POFA[...] lleven a cabo sus descargas de aguas residuales satisfaciendo los límites máximos permisibles establecidos en las normas oficiales mexicanas.*

*Que por conducto de la PROEPA [...] realizar un informe semestral del análisis de las aguas residuales.*

*Los criterios ambientales más relevantes para efectos de este trabajo son los enumerados 5.4.2, 5.4.4, 5.4.7, 5.4.10, 5.4.13 y 5.5.9.*

## **Presencia de contaminantes y la afectación a la salud de las comunidades ribereñas del Río Grande de Santiago**

La falta de supervisión y regulación sobre el manejo de residuos durante el proceso de desarrollo industrial y expansión urbana en la región del alto Santiago han conducido a un deterioro de las fuentes naturales de abastecimiento de recursos. Los cuerpos superficiales de agua se han visto afectados debido al uso que se les ha asignado como sistemas de drenaje, sobredimensionando su capacidad natural de recuperación y autodepuración, invalidando la mayoría de los servicios ecosistémicos que proveen y la sobrevivencia de las comunidades biológicas que los habitan.

En el 2008, la SEMARNAT informó de la existencia de 69 empresas generadoras de residuos peligrosos en el municipio de El Salto, 46 en Ocotlán y 10 en Poncitlán (CEDHJ 2008). De acuerdo con información del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), la CEA Jalisco y la Comisión de Cooperación Ambiental (CCA), en el Río Grande de Santiago se encuentra un gran número de sustancias químicas que incluye compuestos orgánicos volátiles, metales pesados y detergentes, entre otros. Sin embargo la mayor cantidad de reportes de emisiones al agua se concentra en el grupo de los metales (ver Capítulo 5). Los tipos de industrias asentadas en cada municipio son diversas (Tabla 1) y generan descargas de distintas características que varían en el grado de afectación a los cuerpos de agua.

Tabla 1. Principales fuentes de descargas industriales por municipio en la zona de estudio.

| Municipio                     | Fuente de descarga   |
|-------------------------------|--|
| Ocotlán                       | Industria de fibras sintéticas; industria de teñido de telas; industrializadora de lácteos; fábricas de muebles; maquiladora de ropa.  |
| Poncitlán                     | Industria de plásticos; fábrica de fibras sintéticas, de productos textiles, de muebles, de aglomerados de madera, de dulces.  |
| Ixtlahuacán de los Membrillos | Molino de trigo; fábrica de productos químicos, de postes y herrajes; ladrilleras; fundidora de metales; procesadora de alimentos balanceados; artesanías de barro; granjas porcícolas y avícolas.   |
| El Salto                      | Industria química, alimenticia y farmacéutica.   |
| Tlajomulco de Zúñiga          | Industria farmacéutica; fábrica de equipos eléctricos y electrónicos; embotelladoras de agua; fábrica de dulces, de manteles de plástico, de vigas y concreto, de block; agroquímica; fábrica de corcholatas, de ropa; empacadora de frutas y verduras; fundidora de metales; maquiladora de ropa. |
| Tonalá                        | Fábrica de concentrados proteínicos, de cintas aislantes, de cerámica, de partes automotrices, de artesanías en vidrio soplado, de metal y arcilla, de refacciones para camiones.  |
| Zapotlanejo                   | Empacadora de carnes frías; grupo agroindustrial; maquiladora de ropa interior; industrializadora de agave; fábricas de ropa.  |

Fuentes: SIGA 2012; INAFED 2012.

La Tabla 2 presenta un resumen de las características toxicológicas de los metales y otras sustancias químicas de importancia toxicológica que han sido reportadas por las industrias en la zona de estudio.

Tabla 2. Propiedades toxicológicas de los contaminantes en el Río Grande de Santiago y Arroyo El Ahogado.

| Contaminante   | Efectos por exposición aguda (1) y crónica (2)  | Vías de exposición                 |
|----------------|---|------------------------------------|
| Antimonio      | (1) Náuseas, vómito y diarrea intensa. Puede causar nefritis hemorrágica y hepatitis.<br>(2) Afectaciones cutáneas, sangrado de encías, conjuntivitis, laringitis, cefalea, pérdida de peso y anemia.   | Ingestión<br>Inhalación            |
| Aluminio       | (1) Alteraciones en sistema respiratorio y nervioso   | Ingestión<br>Inhalación            |
| Arsénico       | (1) Fiebre, hepatomegalia, melanosis, arritmia cardiaca, neuropatía periférica, anemia y leucopenia. Puede ser letal.<br>(2) Hiperqueratosis, lesiones vasculares. Efectos adversos sobre el sistema nervioso y la piel. Cancerígeno para seres humanos (IARC:1).   | Ingestión<br>Inhalación            |
| Berilio        | (1) Dermatitis de contacto, irritación ocular, conjuntivitis, neumonitis.<br>(2) Beriliosis que puede ser letal. Cancerígeno para seres humanos (IARC: 1).  | Dérmica<br>Inhalación              |
| Cadmio         | (1) Neumonitis, edema pulmonar e incluso la muerte.<br>(2) Enfermedades obstructivas pulmonares crónicas, bronquitis crónica, fibrosis pulmonar y enfisema. Degeneración de los túbulos renales y pérdida de funcionalidad de los riñones. Hipertensión y las alteraciones óseas (osteomalacia, osteoporosis y dolor óseo).<br>Cancerígeno para seres humanos (IARC: 1).  | Inhalación<br>Ingestión            |
| Cromo VI       | (1) Lesiones renales.<br>(2) Ulceración y perforación del tabique nasal, así como de otras regiones cutáneas expuestas. Cancerígeno para seres humanos (IARC: 1).   | Inhalación<br>Ingestión<br>Dérmica |
| Plomo          | (1) Efectos sobre el sistema nervioso central (parestesia, dolor y debilidad muscular). Crisis hemolítica aguda, anemia grave y hemoglobinuria. Efectos adversos para los riñones.<br>(2) Síntomas gastrointestinales, neuromusculares, sistema nervioso central, reducción de conciencia, coma y muerte. Secuelas como retraso mental, convulsiones y atrofia óptica. Anemia. Disfunción renal. Esterilidad. Muerte neonatal. Efectos teratogénicos. | Ingestión<br>Inhalación            |
| Mercurio       | (1) Bronquitis corrosiva y neumonitis aguda, que puede causar la muerte.<br>(2) Efectos sobre el sistema nervioso central (temblores, hipertrofia de la tiroides, taquicardia, gingivitis, cambios en la personalidad, eretismo, pérdida de memoria, depresión severa, delirios y alucinaciones).<br>Afección renal. No clasificable como cancerígeno (IARC: 3).  | Inhalación                         |
| Metil mercurio | Neurotóxico (temblores, pérdida de sensibilidad de los dedos, ataxia, neurastenia, pérdida de visión y audición, espasmos, coma y muerte).<br>Exposición durante al embarazo provoca lesiones congénitas del sistema nervioso. Posiblemente cancerígeno para seres humanos (IARC: 2B).  | Ingestión                          |
| Níquel         | (1) Dermatitis de contacto. Irritación intestinal, convulsiones y asfixia. Irritación pulmonar, asma, neumoconiosis, fibrosis pulmonar y edema pulmonar.<br>(2) Posiblemente cancerígeno para seres humanos (IARC: 2B).   | Dérmica<br>Ingestión<br>Inhalación |

|         |   |                                    |
|---------|---|------------------------------------|
| Zinc    | (1) Fiebre, escalofríos, fatiga, dolores musculares y torácicos, confusión mental, alucinaciones y convulsiones.  | Inhalación<br>Ingestión            |
| Cobalto | (1) Efectos adversos en los pulmones y el corazón.<br>(2) Bocio y miocardiopatía congestiva.<br>Posiblemente cancerígeno para seres humanos (IARC: 2B).   | Inhalación<br>Ingestión            |
| COV*    | (1) Pueden causar irritación de los ojos y vías respiratorias, dolor de cabeza, mareos, trastornos visuales, fatiga, pérdida de coordinación, reacciones alérgicas de la piel, náuseas y trastornos de memoria.<br>(2) Pueden causar lesiones de hígado, riñones y sistema nervioso central. Algunos son cancerígenos para seres humanos. | Inhalación                         |
| Cianuro | (1) Pérdida de conciencia inmediata, convulsiones y muerte. La absorción cutánea causa vértigo, respiración rápida, cefalea, somnolencia y pulso rápido.<br>(2) Vértigo, debilidad, congestión pulmonar, conjuntivitis, anorexia, pérdida de peso y deterioro mental. La insuficiencia tiroidea.  | Ingestión<br>Inhalación<br>Dérmica |

\* La clasificación de compuestos orgánicos volátiles (COV) se utiliza para designar a una gran diversidad de sustancias que, aunque comparten algunas propiedades químicas y estructurales, varían en su toxicidad por lo que la descripción en la tabla corresponde únicamente a generalidades del grupo. Entre los COV que han sido encontrados en el Río Grande de Santiago se encuentran: fenol, cloroformo, etilbenceno, tetracloroetileno, xileno, tolueno, benceno y benceno clorado. *Fuentes: Dreisbach, 1983; Moreno, 2003.*

Aunque exista una amplia variedad de efectos descritos para una sustancia, la toxicidad dependerá de factores como la dosis, el tiempo y la forma de exposición (Goyer y Clarkson, 2005), además de las características individuales de las personas expuestas, tales como el estado nutricional y de salud, edad y su constitución genética (Montero et al., 2006).

Por otro lado, las descargas de aguas residuales municipales, de los campos agrícolas y de rastros y granjas que no reciben tratamiento, contienen sustancias orgánicas e inorgánicas que propician la presencia de parásitos, insectos, virus y microorganismos patógenos, así como de vectores de enfermedades, de los que se han caracterizado 1,415 (Abraham, 2011; Tabla 3).

La abundancia de estos organismos en el agua no es constante sino episódica, de acuerdo a la variación de las condiciones favorables para su proliferación (UNEP/UNESCO 2008). Muchas bacterias, en particular, pueden tolerar ambientes fuertemente contaminados que normalmente, en libre flotación, no tolerarían, debido a su capacidad de organizarse en consorcios y *biofilms* (Abraham 2011).

Tabla 3. Principales afecciones relacionadas con patógenos en lodos y aguas residuales.

| Grupo        | Patógenos                     | Enfermedad y síntomas   |
|--------------|-------------------------------|---|
| Virus        | Polivirus                     | Poliomielitis, fiebre, parálisis espástica  |
|              | Adenovirus                    | Tos, neumonía, bronquitis.  |
|              | Coxsackievirus                | Meningitis, neumonía, hepatitis, fiebre y escalofríos                                   |
|              | Echovirus                     | Meningitis, parálisis, encefalitis, fiebre, escalofríos, diarrea.                       |
|              | Virus de hepatitis A          | Hepatitis, fatiga, diarrea.   |
|              | Rotavirus                     | Gastroenteritis aguda con diarrea severa.   |
|              | Agente Norwalk                | Gastroenteritis contagiosa con diarrea severa.  |
|              | Reovirus                      | Infecciones respiratorias, gastroenteritis.   |
| Bacterias    | <i>Vibrio cholerae</i>        | Cólera, diarrea.  |
|              | <i>Escherichia coli</i>       | Gastroenteritis, Salmonelosis, fiebre tifoidea, delirio.                                |
|              | <i>Salmonella</i> spp         | Disentería bacilar.   |
|              | <i>Shigella</i> spp           | Botulismo, afecciones respiratorias.  |
|              | <i>Chlostridium botulinum</i> | Gastroenteritis aguda.  |
|              | <i>Yersinia</i> spp           | Fiebre de Pontiac, enfermedad del legionario, neumonía.                                 |
|              | <i>Legionella pneumophila</i> | Meningitis, disfunción renal, ictericia.  |
| Protozoarios | <i>Leptospira</i> spp         | Síntomas de gripa, náuseas, gastroenteritis.  |
|              | <i>Cryptosporidium</i> sp     | Disentería amibiana (enteritis aguda).  |
|              | <i>Entamoeba histolytica</i>  | Giardiasis (diarrea, calambres abdominales, pérdida de peso).                           |
|              | <i>Giardia lamblia</i>        | Diarrea y disentería.   |
|              | <i>Balantidium coli</i>       | Toxoplasmosis.  |
|              | <i>Toxoplasma gondii</i>      | Disturbios digestivos y nutricionales, dolores, abdominales, vómito.                    |
|              | <i>Ascaris lumbricoides</i>   | Puede provocar tos, dolor de pecho y fiebre.  |
| Helmintos    | <i>Ascaris suum</i>           | Dolor abdominal, diarrea, anemia, pérdida de peso.                                      |
|              | <i>Trichuris trichiura</i>    | Fiebre, dolor abdominal, dolor muscular, síntomas neurológicos.                         |
|              | <i>Toxocara canis</i>         | Cisticercosis, nerviosismo, insomnio, anorexia, dolor abdominal, disturbios digestivos. |
|              | <i>Taenia</i> spp             | Necatoriosis o uncinariasis.  |
|              | <i>Necator americanus</i>     | Teniosis.   |
|              | <i>Hymenolepis nana</i>       |   |

Fuente: Abraham 2011; Mijaylova, 1993 tomado de SIGA 2006.

## Rutas de exposición a los contaminantes

Los agentes químicos liberados por el hombre se desplazan a partir de las fuentes de emisión como partículas sueltas, o adheridas a otras, en agua y aire. Los contaminantes son retenidos o movilizados en el ambiente de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas hasta su eventual contacto con los seres humanos (Tabla 4). En la toxicología acuática, los metales pesados tienen un papel central por sus efectos tóxicos, su prevalencia y persistencia. Su dinámica ambiental es compleja. Su movilidad y disponibilidad dependen de sus propiedades fisicoquímicas y de las del ambiente, particularmente del pH, potencial redox, oxígeno disuelto y materia orgánica disuelta (Yin y Allen, 2000). Algunos metales como el cadmio, zinc, mercurio

y plomo son volatilizados por procesos industriales y transportados subsecuentemente en partículas y cenizas por el aire para depositarse finalmente en agua o suelo. En un ambiente acuático pueden ser arrastrados por la corriente o adherirse a las partículas en suspensión y eventualmente sedimentarse (Albering et al., 1999; Álvarez et al., 2004; Speelmans et al., 2007). En el suelo su movilidad es menor, dependiendo de características como el pH, tamaño y carga de las partículas del suelo, serán retenidos o liberados lentamente. Las tierras inundables acumulan metales pesados y otras sustancias que se depositan desde el agua contaminada (Albering et al., 1999; Speelmans et al., 2007). Tanto en el agua como en el suelo, pueden ser incorporados por organismos y en algunos casos ser bioacumulados, en su estado metálico o formando compuestos organometálicos (Walker et al., 2006).

En zonas de cultivo se ha observado contaminación persistente de los suelos por metales pesados debido al riego con agua procedente de ríos que reciben descargas industriales (Li et al., 2009). Esto representa un riesgo considerable para la salud humana no sólo por la posibilidad de ingestión de alimentos contaminados, sino por la exposición directa a las partículas de suelo o la ingestión inadvertida o por su transporte por viento, principalmente durante la época de secas (Miller et al., 2004; Singh et al., 2004).

Por otro lado, los compuestos orgánicos volátiles (COV) se transportan fácilmente en el ambiente por evaporación. En los cuerpos de agua superficiales su tendencia natural es a evaporarse. La temperatura, la exposición a la luz solar y la velocidad del agua afectan el volatilización y transporte de los compuestos (Juang et al., 2009, 2010). La concentración de los distintos tipos de COV varía de acuerdo a la distancia de las fuentes de emisión. La mayoría de estos compuestos tiene actividad mutagénica y cancerígena por lo que su presencia en los ecosistemas es un riesgo serio a la salud (Ohe et al., 2004).

Finalmente, las bacterias patógenas provenientes de las descargas municipales en los cuerpos de agua pueden ser aerosolizadas y causar enfermedades, principalmente gastrointestinales, en las poblaciones expuestas (Motta et al., 2008; Rodríguez et al., 2009). En años recientes se ha documentado que los antibióticos descargados a los cuerpos de agua tienen el efecto de producir en algunos casos cepas bacterianas resistentes, lo que complica el tratamiento médico (Abraham, 2010).

Tabla 4. Rutas y vías de exposición a contaminantes reportados en el Río Grande de Santiago

|           | Transporte en el ambiente  | Vías de exposición ambiental  |
|-----------|--|---|
| Antimonio | Permanece en el aire adherido a partículas finas por días. La mayor parte se deposita en el suelo en donde se adhiere firmemente a partículas que contienen hierro, manganeso o aluminio.  | Se encuentra naturalmente en alimentos, agua potable y aire en baja concentración. A través de la piel por contacto con tierra contaminada. Se puede encontrar antimonio en el aire cerca de industrias que lo procesan o lo liberan.   |
| Arsénico  | Puede ser levantado junto con el polvo en áreas donde hay viento. Muchos compuestos comunes de arsénico pueden disolverse en agua. La mayor parte del arsénico en el agua terminará eventualmente en el suelo o el sedimento. Los peces y mariscos pueden acumular arsénico. La mayor parte de este arsénico está en una forma orgánica llamada arsenobetaina, que es mucho menos peligrosa. | Origen natural e industrial. Ingeriendo pequeñas cantidades de arsénico presentes en los alimentos y el agua o respirando aire que contiene arsénico. Viviendo en áreas con niveles naturalmente altos de arsénico en las rocas. Por hidroarsenicismo natural.                        |
| Cadmio    | Las partículas de cadmio en el aire se movilizan largas distancias antes de depositarse en la tierra o el agua. Algunas formas de cadmio se disuelven en agua. El cadmio se adhiere fuertemente a partículas del suelo. Bioacumulable para plantas, peces y otros animales.  | Las fuentes más importantes son el humo de tabaco y el consumo de productos vegetales cultivados en terrenos contaminados por cadmio y sus compuestos. Comiendo alimentos que lo contienen. Bebiendo agua contaminada. Viviendo cerca de plantas industriales que lo liberan al aire. |
| Cromo     | El cromo se puede encontrar en el aire, el suelo y el agua luego de ser liberado durante la manufactura, uso o disposición de productos de cromo. Generalmente no permanece en la atmósfera sino que se deposita. Se transforma fácilmente de una forma a otra en el agua y el suelo, dependiendo de las condiciones. Los peces no lo acumulan mucho.  | Origen natural e industrial. Comiendo alimentos contaminados con cromo (III). Tomando agua de pozo contaminada. Viviendo cerca de sitios de residuos peligrosos no controlados que contienen cromo, o de industrias que lo emplean.   |
| Cobalto   | En el aire se asocia con partículas que se depositan en el suelo en pocos días. Liberado al agua o al suelo se adhiere a partículas. Algunos compuestos de cobalto se disuelven en el agua.  | Origen natural e industrial. Exposición a bajos niveles de cobalto al respirar aire, tomar agua o comer alimentos que lo contienen.   |
| Plomo     | Cuando se libera al aire, puede movilizarse largas distancias antes de depositarse en el suelo. Una vez que cae, en el suelo generalmente se adhiere a partículas. Dependiendo del compuesto que forme y el tipo de suelo puede movilizarse hacia el agua subterránea.   | Ingestión de alimentos o agua contaminados y la inhalación de humo y partículas. El plomo puede atravesar la placenta y acumularse en los tejidos fetales.  |

|           |   |  |
|-----------|---|--|
| Manganeso | Liberado en el agua tiende a adherirse a partículas o a depositarse en el sedimento. La forma química en que se encuentre y el tipo de suelo determinarán la cantidad que será retenida y la rapidez con que se movilice a través del suelo.  | Consumo de alimentos.  |
| Mercurio  | El mercurio metálico y compuestos de mercurio inorgánicos son las formas químicas generalmente liberadas al ambiente. El metilmercurio puede ser formado en el agua y el suelo por bacterias. Se bioacumula en los tejidos de peces y se biomagnifica.  | Por fuentes naturales e industriales. Inhalación de aire y consumo de alimentos contaminados (peces y mariscos principalmente). El metil mercurio atraviesa la barrera placentaria.  |
| Níquel    | En el aire, se adhiere a pequeñas partículas de polvo que se depositan en el suelo o son removidas en la lluvia o la nieve, lo que generalmente toma varios días. Liberado en el agua termina en el suelo o en el sedimento, en donde se adhiere fuertemente a partículas que contienen hierro o manganeso.   | Al ingerir alimentos contaminados o al respirar aire contaminado.  |
| Zinc      | Se adhiere al suelo, sedimentos y a partículas de polvo en el aire. La lluvia y la nieve remueven las partículas de polvo con zinc del aire. La mayor parte del zinc en el suelo permanece adherido a partículas de suelo y no se disuelve en agua. Se bioacumula en peces y en otros organismos, pero no en plantas.   | Al ingerir pequeñas cantidades presentes en los alimentos.   |
| Cianuro   | En el aire, el cianuro se encuentra principalmente como cianuro de hidrógeno gaseoso mientras que una pequeña cantidad se encuentra como finas partículas de polvo. La mayoría del cianuro en las aguas superficiales forma cianuro de hidrógeno y se evapora. La vida media del cianuro de hidrógeno es aproximadamente 1 a 3 años. Los compuestos de cianuro se mueven con bastante facilidad en el suelo en el que forman cianuro de hidrógeno que luego se evapora o son biotransformados por microorganismos. En concentraciones altas, es tóxico para los mismos por lo que permanece sin ser cambiado a otras formas y atraviesa el suelo, llegando así hasta el agua subterránea. | Por fuentes naturales e industriales. Al respirar aire, beber agua, tocar tierra o comer alimentos que lo contienen. En el humo de cigarrillos. Al respirar el aire cerca de sitios de desechos peligrosos que contienen cianuro |

Fuente: ATSDR (Toxicological profiles).

## **Rutas de exposición en la zona de estudio**

La caracterización de las rutas de exposición en la zona de estudio requiere de un análisis que permita precisar de forma efectiva la manera en que cada matriz ambiental (aire, suelo y agua) contribuye a la exposición de las poblaciones ribereñas. Es importante señalar que el agua del río no es empleada para el abastecimiento de agua potable en la zona. Sin embargo, es utilizada para el riego, predominantemente en la Sección Sureste del área de estudio, en la cual hay extensas áreas de ganadería y cultivo. En la Sección Sureste los habitantes practican pesca de autoconsumo (*obs. pers.*).

En los municipios de Juanacatlán y El Salto (Sección El Ahogado) concurren una serie de características sustancialmente distintas a las del resto de municipios en la zona de estudio. La cascada de El Salto de Juanacatlán, que se localiza justo entre las ciudades de El Salto y Juanacatlán, provoca una agitación violenta del agua que a su vez genera la formación de grandes cantidades de espuma que persiste por kilómetros aguas abajo. El viento provoca la dispersión aérea de la espuma en la zona circundante, lo que supone la exposición de los habitantes a la misma. Del mismo modo, la agitación del agua puede provocar la formación de aerosoles que podrían transportar algunos de los contaminantes disueltos.

La materia orgánica de origen doméstico (aguas negras) genera procesos de descomposición bacteriana que liberan ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), lo que se ha documentado en la zona de El Salto y Juanacatlán (McCulligh, 2009). El ácido sulfhídrico también puede ser liberado como desecho en actividades industriales tales como procesamiento de alimentos, hornos de coque, fábricas de papel, curtidurías y refinerías de petróleo. Las personas que viven cerca de plantas de tratamiento de aguas residuales y represas en donde queda retenida la materia orgánica, como ocurre en el caso de algunas localidades en El Salto, pueden estar expuestas a niveles altos de ácido sulfhídrico. Liberado como un gas, se dispersa en el aire permaneciendo en la atmósfera aproximadamente 18 horas. Su característico olor a huevo podrido es percibido por humanos aun en bajas concentraciones (ATSDR 2006). En el municipio, la percepción de los olores desagradables emanados del Río Grande de Santiago ha sido una queja constante de las comunidades vecinas.

## **Antecedentes del problema de salud en la zona de estudio**

Uno de los factores que ha contribuido de manera importante a la existencia del conflicto socio-ambiental en las comunidades de El Salto y Juanacatlán ha sido la percepción de una creciente afectación a la salud como resultado de la contaminación del Río Grande de Santiago. Entre diciembre de 2009 y enero de 2010, la Secretaría de Salud de Jalisco llevó a cabo un estudio comparativo de la percepción sobre morbilidad y mortalidad entre los pobladores de los municipios de Tonalá y El Salto-Juanacatlán. De acuerdo con el estudio, los resultados no mostraron evidencia epidemiológica que permitiera sugerir que la población cercana al río tuviera que cambiar su ubicación. Hasta la fecha no han sido presentados estudios que evalúen la relación

entre la exposición a los agentes químicos y biológicos presentes en el río y sus efectos, de tal forma que se pueda confirmar o descartar que son la causa de los padecimientos reportados por las comunidades (Martínez y Hernández, 2009). Por otra parte, existe ambigüedad en la información pública emitida por las autoridades en materia de salud (ver Anexo 2). En 2007, el Tribunal Latinoamericano del Agua (TLA) recabó una serie de evidencias sobre la existencia de enfermedades que afectaban a un buen número de los pobladores de los municipios de El Salto y Juanacatlán. Este organismo internacional reconoció que “a partir de la situación de contaminación que existe en el río, la población está en un constante riesgo para su salud” y se “observa un creciente deterioro en la calidad de vida de los pobladores” (TLA 2007). Se recomendó la elaboración de un “estudio epidemiológico interdisciplinario, independiente y participativo, para determinar y analizar los daños específicos a la salud de los habitantes de El Salto y Juanacatlán, a raíz de la contaminación del Río Santiago” (TLA 2007). Como se mencionó en el Capítulo 1, la muerte del niño que habitaba en el fraccionamiento La Azucena, fue atribuida a una intoxicación por arsénico y otros metales pesados encontrados en el organismo del menor (CEDHJ 2008).

En 2009, la ‘Macro-recomendación 1/2009’ emitida por la Comisión Estatal de Derechos Humanos de Jalisco (CEDHJ) concluyó, tras recabar evidencias de hechos durante un lapso de dos años, que 1) los órganos responsables de la vigilancia epidemiológica habían incurrido en omisión de sus deberes, 2) el derecho a la salud de los habitantes en El Salto y Juanacatlán no estaba garantizado debido al grave problema de contaminación en la zona y 3) la situación podría agravarse en tanto no se proporcionaba a la población información sobre las causas de los efectos nocivos del ambiente en la salud (CEDHJ 2009). Entre algunas de las acciones realizadas por la CEDHJ que aportaron elementos para evaluar las condiciones de salud poblacional fueron:

1. La valoración de alumnos y profesores en una escuela primaria ubicada en las márgenes de la cascada El Salto de Juanacatlán, que corroboró la existencia de síntomas clínicos indicadores de problemas de salud física y psicológica que afectaban la calidad de vida y de enseñanza.
2. La aplicación de encuestas sobre padecimientos en habitantes con 40 años de residencia confirmó la presencia de malestares recurrentes en vías respiratorias, ojos y piel.
3. La verificación, mediante copias certificadas de actas de defunción, de un incremento de los fallecimientos por enfermedades crónicas tales como insuficiencia renal o afecciones cardíacas, en el período comprendido entre 1978 y 1998.

Entre las condiciones particulares que presenta la cascada mencionada están la formación de espuma que es arrastrada por el viento hacia la ciudad. Su contenido o composición aun no ha sido caracterizado pero se describe que posee un efecto irritante o alérgeno al contacto con la piel. En el mismo sitio se desprenden olores penetrantes debido a la formación de ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) producto de la descomposición bacteriana de la materia orgánica que se acumula. En forma de gas el ácido sulfhídrico se dispersa en la atmósfera y permanece durante un período aproximado de 18 horas lo que puede generar una situación de exposición prolongada a bajos niveles ocasionando irritación de ojos, nariz y garganta, dolor de cabeza, tos crónica y fatiga (ATSDR 2006). Los individuos asmáticos son particularmente susceptibles a sus efectos lo que ha

sido observado a niveles de  $2.8\text{mg}/\text{m}^3$  o  $1.9\text{ ppm}$ , es neurotóxico en exposiciones crónicas, además de poseer potencial teratogénico (WHO-CICAD 2003).

Dos estudios han analizado la presencia ambiental de  $\text{H}_2\text{S}$  en zonas cercanas a la cascada, evaluando además distintos parámetros de afectación a la salud. Gallardo (2005) reportó niveles máximos de  $7\text{ ppm}$  de ácido atmosférico en El Salto y Juanacatlán y una alta frecuencia de padecimientos recurrentes en niños que habitan cerca del cauce, encontrando que el  $49.2\%$  padecía constantemente de trastornos respiratorios, el  $44.6\%$  dolor de garganta y  $4.6\%$  enfermedades de la piel. Los niños que asistían a escuelas cercanas al río refirieron como principales síntomas dolor de cabeza ( $83\%$ ), náuseas ( $7.6\%$ ) y dermatitis ( $1.5\%$ ) (Gallardo, 2005). La segunda investigación (Parra, 2006) encontró niveles atmosféricos máximos de este ácido de  $6.1\text{ ppm}$  en una escuela primaria ubicada a  $100\text{ m}$  de la cascada en El Salto, mientras que en otra localizada a  $5\text{ km}$  en Juanacatlán, los niveles no fueron detectables. Los datos de salud obtenidos de los niños permitieron analizar las diferencias en cuanto a signos y síntomas asociados a trastornos neurológicos y respiratorios relacionados con la exposición a  $\text{H}_2\text{S}$ . Los niños de la escuela cercana tuvieron una incidencia mayor, estadísticamente significativa, de cada uno de los síntomas evaluados: cefalea, rinorrea, tos, conjuntivitis, fatiga e irritabilidad. Además presentaron una clara reducción de su capacidad respiratoria, medida a través de la prueba de Flujo Espiratorio Máximo (FEM), que se relacionó de manera inversamente proporcional con los niveles de  $\text{H}_2\text{S}$  en cada mes.

En ningún caso los niveles atmosféricos de  $\text{H}_2\text{S}$  superaron los límites sugeridos para evitar efectos tóxicos en el ambiente laboral, establecidos por la *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) en  $10\text{ ppm}$ . Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los criterios están referidos a personas adultas laboralmente expuestas, que utilizan equipo de protección para sustancias tóxicas durante la jornada de trabajo, cinco días a la semana, y que se ha reconocido que los datos epidemiológicos sobre la afectación por exposición crónica a esta sustancia son escasos (ATSDR 2006; Gallardo, 2005). Debido a que grupos vulnerables como las personas asmáticas y los niños pueden encontrarse mayormente en riesgo, las agencias internacionales han sido mucho más estrictas en las guías de calidad del aire, sugiriendo una concentración permisible de  $0.10\text{ ppm}$  en promedio para una exposición de  $24\text{ horas}^3$  (WHO 2000; Parra, 2006).

En la comunidad de El Terrero, municipio de El Salto, se llevó a cabo un estudio (Guerrero, 2007) para analizar la relación entre las condiciones de deterioro ambiental por las emisiones atmosféricas de fundidoras y ladrilleras y la cercanía a la Presa El Ahogado y la afectación a la salud de los escolares de educación básica. Entre los resultados relevantes se destaca la alta frecuencia de sintomatologías como cefaleas, afecciones oculares y respiratorias en los niños de  $9$  a  $11$  años, coincidentes con los resultados de los estudios mencionados arriba.

---

<sup>3</sup>  $0.15\text{mg}/\text{m}^3=0.10\text{ ppm}$ ; Factor de conversión:  $1\text{mg}/\text{m}^3=0.670\text{ppm}$

En el estudio de Martínez y Hernández (2009) en El Salto se aplicó un índice de bienestar como instrumento de medición. El índice para esta comunidad resultó 'moderado', resaltando que en la población bajo estudio (n=380) se encontraron mayoritariamente jóvenes de 12 a 20 años (63.7%), y el índice obtenido fue similar al de una población de adultos mayores de 60 años habitantes de la ciudad de Guadalajara, en el que se aplicó la misma metodología. Como datos aislados se recabaron encuestas sobre los síntomas señalados por la población entre los cuales se encontraron cefaleas, irritabilidad, pérdida de la memoria y malestar provocado por la inhalación recurrente de los olores desagradables que emanan del río y que se incrementan durante la época de lluvia.

Finalmente, la percepción compartida por médicos locales, según entrevistas realizadas por el Instituto Mexicano para el Desarrollo Comunitario, es que en los últimos años ha ocurrido un incremento en la incidencia de cáncer, particularmente leucemia, abortos, malformaciones, enfermedades de la piel y vías respiratorias entre los habitantes de El Salto (IMDEC 2007).

## Capítulo 4

# Calidad del agua en el Río Grande de Santiago

### Introducción

La contaminación de los cuerpos es una preocupación a nivel mundial y es considerada por algunos incluso como un problema ambiental epidémico (Ouyang et al., 2006; Noori et al., 2010). En México, el problema de contaminación afecta las cuencas Lerma-Chapala-Santiago, Balsas, Bravo, Grijalva, Papaloapan y las comprendidas en las regiones hidrográficas Golfo Norte, Pacífico Norte y Golfo Centro (De La Vega 2003; Mora et al., 2012), entre otras. Actualmente se descarga a los ríos un volumen de 243 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales municipales y 188.7 m<sup>3</sup>/s de industriales, de las cuales reciben tratamiento sólo un 40.5% de las primeras y menos del 16% de las segundas a nivel nacional (Mora et al., 2012). Además, la falta de un marco normativo claro en el manejo integrado del agua ha incidido negativamente en la capacidad de las instituciones para monitorear, supervisar y aplicar las leyes de regulación ambiental que puedan frenar la contaminación (Mora et al., 2012).

El Río Grande de Santiago ha llamado la atención por su grado de contaminación (Capítulo 1). La Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA Jalisco) reporta mensualmente las condiciones de calidad del agua del río desde 2009, pero hasta la fecha no se ha realizado un análisis histórico del proceso de contaminación a pesar de que existen estos y otros reportes. En consecuencia nos propusimos elaborar un reporte de este tipo. En este sentido cobra gran importancia el monitoreo de parámetros fisicoquímicos de los cuerpos de agua, en términos tanto de la salud pública como de los organismos acuáticos.

### Objetivos

1. Reunir información de la calidad de agua en el Río Grande de Santiago.
2. Hacer un análisis del comportamiento de los parámetros de calidad de agua en el río en el período de 1990 a 2012.
3. Identificar los sitios con mayor contaminación.
4. Verificar los parámetros de calidad del agua en el río en el tramo Ocotlán-Matatlán con mediciones de campo.

## Métodos

Consultamos los reportes mensuales de la CEA Jalisco de calidad de agua del Río Grande de Santiago en el período de 2009 a 2012, a través de su sitio de internet ([http://www.ceajalisco.gob.mx/notas/resultados\\_monitoreo.html](http://www.ceajalisco.gob.mx/notas/resultados_monitoreo.html)). De los reportes seleccionamos los siguientes parámetros:

- |  |  |
|--|--|
| 1. Temperatura                                       | 10. Demanda química de oxígeno (DQO)   |
| 2. Potencial de hidrógeno (pH)                       | 11. Fósforo total (P)  |
| 3. Oxígeno disuelto (OD)                             | 12. Sólidos suspendidos totales (SST)  |
| 4. Conductividad                                     | 13. Sólidos disueltos totales (SDT)  |
| 5. Turbidez  | 14. Sólidos sedimentables (SS)   |
| 6. Nitrato (NO <sub>3</sub> )                        | 15. Metales pesados: aluminio, arsénico, bario, cadmio, cobre, cromo VI, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo, sodio y zinc. |
| 7. Nitrito (NO <sub>2</sub> )                        |  |
| 8. Nitrógeno amoniacal (N-NH <sub>3</sub> )          |  |
| 9. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) |  |

Además, para completar la información consultamos trabajos y reportes técnicos publicados por el INE, SEDESOL y CINESTAV-IPN (1993), por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (2008) y por Hansen y González-Márquez (2010). Con base en ellos agregamos los siguientes parámetros a la lista:

- |                  |   |
|------------------|---|
| 16. Cianuro (CN) | 21. Tetracloroetileno   |
| 17. Fenol        | 22. Tolueno   |
| 18. Naftaleno    | 23. Plaguicidas hexaclorociclohexanos ( $\alpha$ HCH, $\lambda$ HCH, $\beta$ HCH) |
| 19. Etilbenceno  |   |
| 20. Cloroformo   | 24. Aldrín  |

Construimos una base de datos de las estaciones de muestreo donde se incluyeron la georreferencia, fecha y valores registrados de los distintos parámetros (Anexo 1). Agrupamos las estaciones de muestreo de la CEA Jalisco de acuerdo a las secciones definidas anteriormente (Tabla 1, Mapa 1). Para visualizar el comportamiento de los parámetros, promediamos los datos por año, mes y sección respectivamente, y elaboramos gráficas. No existe información disponible para el periodo comprendido entre 1990 y 2004. Los datos de 2012 en las gráficas corresponden únicamente al mes de enero. Para los datos obtenidos de nuestro muestreo puntual empleamos un análisis jerárquico de conglomerados (ACJ) con el objetivo de agrupar las estaciones de muestreo de acuerdo a su similitud (Fowler et al., 1998). Utilizamos en total 18 variables.

Tabla 1. Zonificación de las estaciones de muestreo y correspondencia entre estaciones de la CEA Jalisco y este trabajo.

| Secciones  | Estación de muestreo de la CEA Jalisco  | Estación de muestreo en este trabajo |
|------------|---|--------------------------------------|
| Sureste    | Ocotlán                                 | Ocotlán                              |
|            | -                                       | Poncitlán                            |
|            | -                                       | San Jacinto                          |
|            | Presa Corona-Poncitlán                  | Presa Corona                         |
|            | -                                       | Miraflores                           |
| El Ahogado | ExHacienda de Zapotlanejo               | -                                    |
|            | Carretera a Chapala antes de Aeropuerto | Arroyo Las Pintas                    |
|            | Puente localidad El Muelle              | -                                    |
|            | -                                       | Presa El Ahogado                     |
| Norte      | -                                       | La Azucena                           |
|            | Compuerta-Puente El Salto-Juanacatlán   | El Salto I                           |
|            | -                                       | El Salto II                          |
|            | Puente Grande                           | Puente Grande                        |
|            | Vertedero controlado de Matatlán        | Matatlán                             |

A continuación presentamos los resultados obtenidos de los registros históricos de los parámetros de calidad de sedimentos y agua (1990-2012) en el Río Grande de Santiago, así como del muestreo que llevamos a cabo en febrero de 2012.

## Resultados

### Registros de contaminantes en los sedimentos

En el caso de los sedimentos, la información que existe es poca. Reunimos la información que se ha publicado en los años 1992, 2006 y 2008 (Tabla 2, Fig. 1). Dado que en México no se cuenta con lineamientos ni límites máximos permitidos de metales pesados en sedimentos, tomamos como referencia la Guía Canadiense de Calidad de Sedimentos para la Protección a la Vida Acuática del Consejo Canadiense de Ministerios del Medio Ambiente (*Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, Canadian Council of Ministers of the Environment*), como lo hicieran Hansen y González-Márquez (2010). Observamos que las concentraciones registradas en 2006 son notablemente altas en comparación con las reportadas en 1992. Este comportamiento aparentemente anómalo podría deberse a la acumulación de metales en los sedimentos a lo largo del tiempo, dado que la tendencia de estos es a la depositación y permanencia en los mismos (Walker et al., 2006), y que el lapso entre muestreos fue largo. Adicionalmente, podrían estar contribuyendo también la disparidad en técnicas de detección y en los sitios puntuales de muestreo. Entre los datos del 2006 (Hansen y González-Márquez, 2010) y los reportados en el informe del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA 2008) también hay diferencias, si bien son más moderadas. Destaca particularmente la disparidad en las concentraciones del arsénico, plomo y mercurio.

Además de los 15 metales pesados presentes en la zona, un informe de la CEA-UdeG-CUCEI (2006) reportó la presencia de compuestos orgánicos como hidrocarburos aromáticos policíclicos, benzaldehído, xileno, furanos y fenol; compuestos con actividad genotóxica o epigenética.

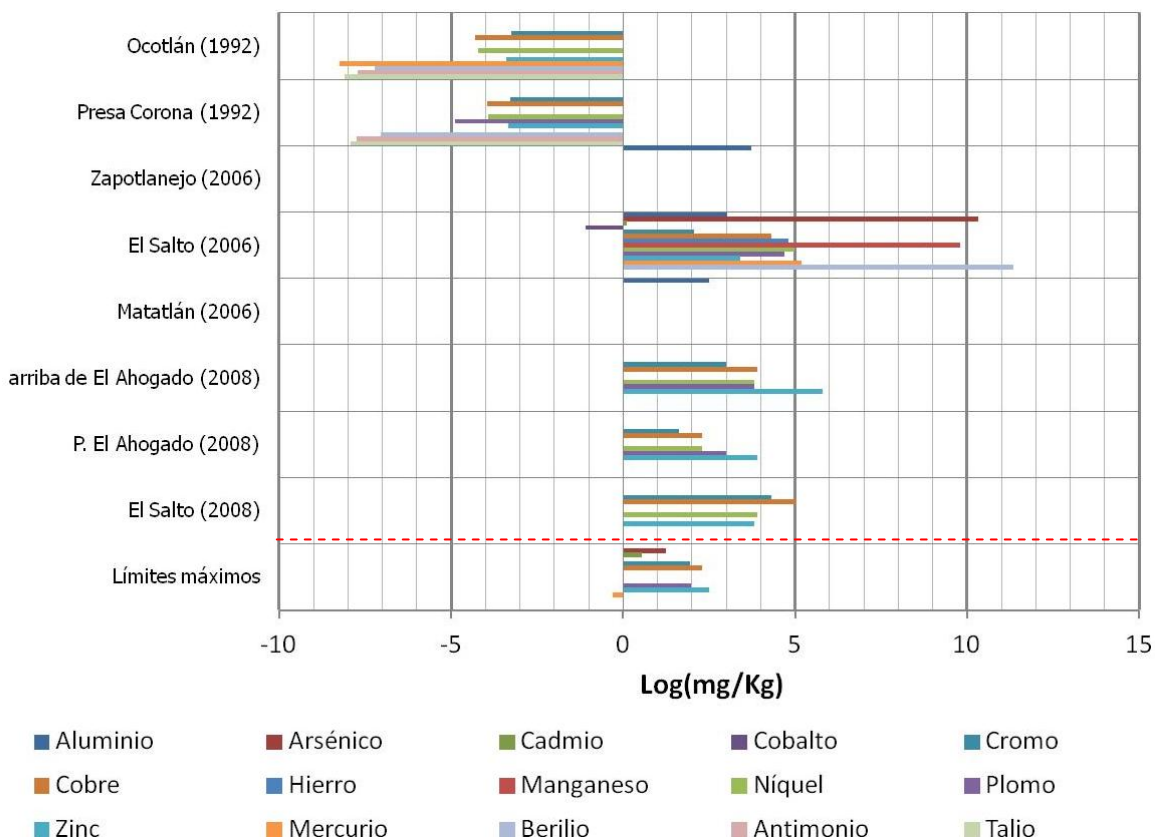


Figura 1. Concentraciones de metales pesados en sedimentos en el Río Grande de Santiago y Arroyo El Ahogado en 1992, 2006 y 2008. Las concentraciones reportadas en la Tabla 2 se muestran como logaritmo.

Tabla 2. Concentraciones de metales pesados (mg/kg) en los sedimentos del Río Grande de Santiago en el período 1992-2008.

| Sustancia | Ocotlán <sup>1</sup> | Presa Corona <sup>1</sup> | Zapotlanejo <sup>2</sup> | El Salto <sup>2</sup> | Matatlán <sup>2</sup> | Aguas arriba de la Presa El Ahogado <sup>3</sup> | Presa El Ahogado <sup>3</sup> | El Salto <sup>3</sup> | Límites máximos <sup>4</sup> |
|-----------|----------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|--|-------------------------------|-----------------------|------------------------------|
|           | 1992                 | 1992                      | 2006                     | 2006                  | 2006                  | 2008   | 2008                          | 2008                  |                              |
| Aluminio  | -                    | -                         | 41.28                    | 20.62                 | 12.24                 | -  | -                             | -                     | -                            |
| Arsénico  | -                    | -                         | -                        | <b>30,439</b>         | -                     | 0  | 0                             | 0                     | 17                           |
| Cadmio    | -                    | -                         | -                        | 1.10                  | -                     | 0  | 0                             | 0                     | 3.5                          |
| Cobalto   | -                    | -                         | -                        | 0.34                  | -                     | -  | -                             | -                     | -                            |
| Cromo     | 0.03900              | 0.0374                    | -                        | 7.80                  | -                     | 20   | 5                             | 75                    | 90                           |
| Cobre     | 0.01368              | -                         | -                        | 73.40                 | -                     | 50   | 10                            | 155                   | 197                          |
| Hierro    | -                    | -                         | -                        | 123.90                | -                     | -  | -                             | -                     | -                            |
| Manganeso | -                    | -                         | -                        | <b>18,034</b>         | -                     | -  | -                             | -                     | 1,100                        |
| Níquel    | 0.01482              | -                         | -                        | 147                   | -                     | 45   | 10                            | 50                    | 36                           |
| Plomo     | -                    | 0.0075                    | -                        | <b>109</b>            | -                     | 45   | 20                            | -                     | 91.3                         |
| Zinc      | 0.03329              | -                         | -                        | 30.50                 | -                     | 330  | 50                            | 45                    | 315                          |
| Mercurio  | 0.00026              | -                         | -                        | <b>178.20</b>         | -                     | 0  | 0                             | 0                     | 0.486                        |
| Berilio   | 0.00072              | -                         | -                        | 84,694                | -                     | -  | -                             | -                     | -                            |
| Antimonio | 0.00045              | -                         | -                        | -                     | -                     | -  | -                             | -                     | -                            |
| Talio     | 0.00030              | -                         | -                        | -                     | -                     | -  | -                             | -                     | -                            |

<sup>1</sup>DGID del INE, SEDESOL, CINVESTAV-IPN (1994)

<sup>2</sup>Hansen y González-Márquez. J. Environ. Sci. Health 45: 99-106 (2010).

<sup>3</sup>IMTA. Informe de resultados del monitoreo del Río Santiago y Arroyo El Ahogado (2008).

<sup>4</sup>Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (2002).

- no se reporta

## Registros de calidad del agua: 1990-2012

### Temperatura y pH: 1990; 2004-2012

Los registros de temperatura y pH (potencial de hidrógeno) en el Río Grande de Santiago en los últimos 21 años muestran poca variación anual. Aunque no se puede excluir la posibilidad de contaminación térmica en la zona, los datos no son suficientemente numerosos ni precisos como para poner esta hipótesis a prueba. La temperatura mensual sigue un patrón normal; el pico máximo de temperatura del agua superficial se alcanza en el mes de agosto y fluctúa alrededor de los 25° C, mientras que el mínimo está alrededor de los 18° C y se registra en el mes de enero (Fig. 2).

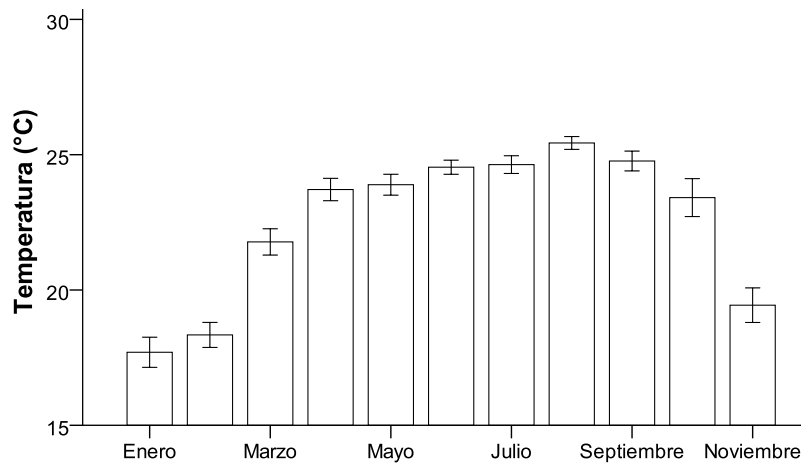


Figura 2. Temperatura mensual promedio (y error estándar) en la zona de estudio en el periodo 1990; 2004-2012.

En cuanto al pH, éste se ha mantenido dentro del rango 6.5-8.5 en el período de 1990 a 2012, establecido como normal en los lineamientos de Calidad de Agua de la Ley Federal de Derechos (LFD 2009), para uso 3 (protección de la vida acuática) (Fig. 3). Es interesante observar que en 2004, 2007 y 2008 presentó valores comparativamente bajos. Sin embargo, en los últimos años se ha mantenido estable.

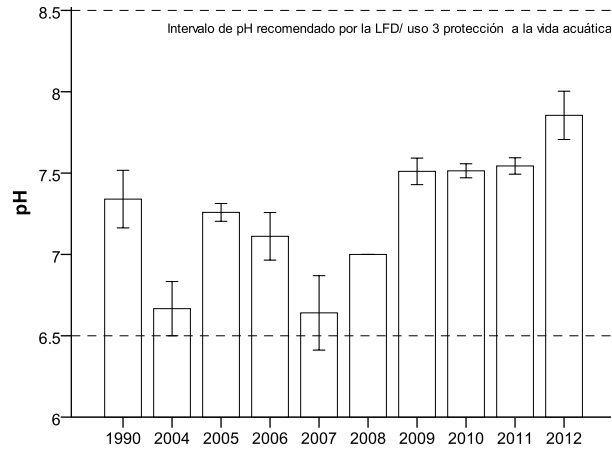


Figura 3. pH anual promedio (y error estándar) en la zona de estudio.

### Oxígeno disuelto: 2004-2012

Encontramos registros de oxígeno disuelto (OD), únicamente a partir de 2004. Éstos muestran que la concentración de OD se ha mantenido por debajo del mínimo recomendado por la LFD (2009) para la protección de la vida acuática, que es de 5 mg/l (Fig. 4). Al agrupar los datos por estación de muestreo, el nivel promedio de OD resulta encontrarse por debajo del mínimo en todas, menos Matatlán (Fig. 5). El promedio de las concentraciones en el arroyo Las Pintas y Presa El Ahogado es de tan sólo 0.7 mg/l, muy cercano a la anoxia, y para los sitios en el Río Grande de Santiago es de 2.3 mg/l, ligeramente mejor pero aun bastante pobre.

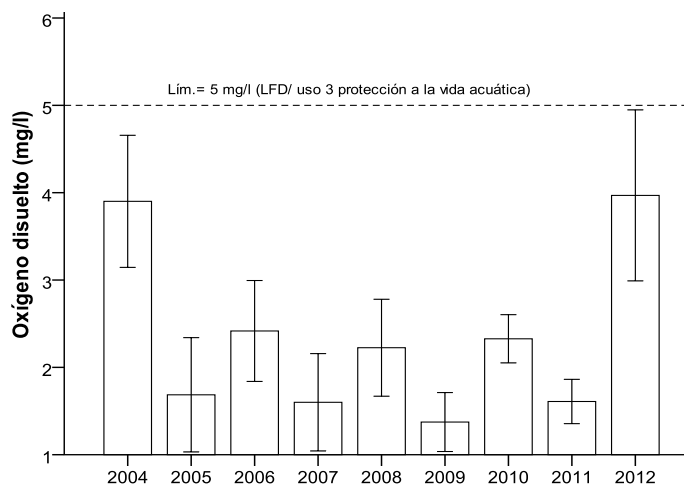


Figura 4. Concentración anual promedio de oxígeno disuelto (y error estándar) en la zona de estudio.

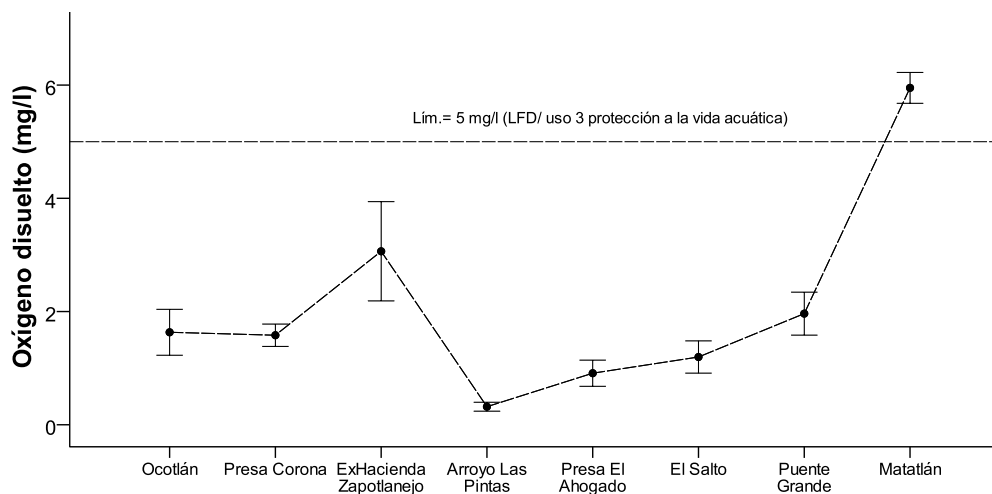


Figura 5. Concentración promedio de oxígeno disuelto (y error estándar) en las estaciones de muestreo en el periodo 2004-2012.

### Conductividad: 2005-2012

En los últimos años la conductividad en el río muestra una tendencia ligera al incremento, desde 800 hasta casi 2,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , aunque con un descenso notable en 2008 (Fig. 6). Lo anterior sugiere un aumento de sustancias ionizables y conductoras de electricidad en el agua como pueden ser calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos, sulfatos y probablemente iones cloro; lo que a su vez puede ser indicativo de contaminantes provenientes de descargas de aguas residuales de cualquier tipo.

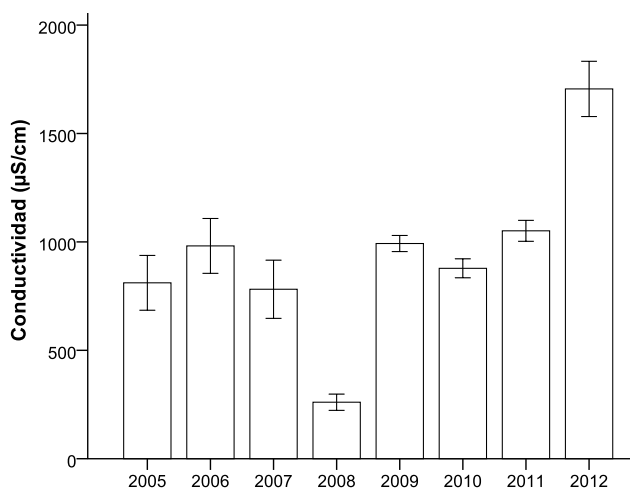


Figura 6. Conductividad anual promedio y error estándar en la zona de estudio.

En la figura 7 se muestra el comportamiento de la conductividad en el río a lo largo del año. Como se observa, es mayor en los meses de enero a junio y disminuye en los meses de julio a noviembre. El anterior comportamiento es probablemente atribuible al régimen de lluvias en la

zona; 75% de la precipitación ocurre de junio a octubre de acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional (smn.cna.gob.mx).

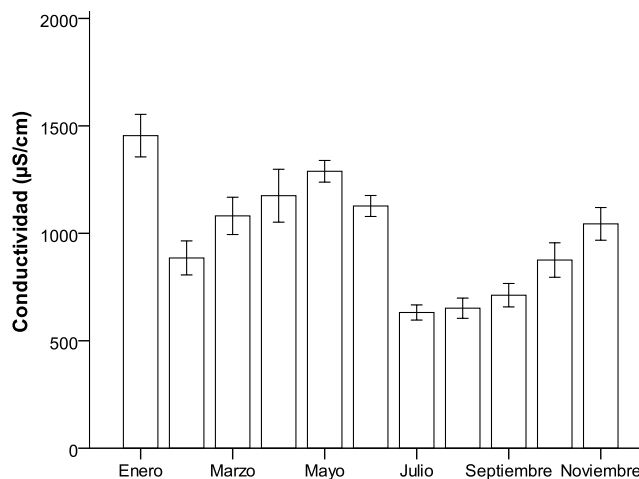


Figura 7. Conductividad mensual promedio (y error estándar) en la zona de estudio en el periodo 2005-2012.

Por otro lado, al agrupar los valores de conductividad de acuerdo a las secciones del río propuestas, se ve que la Sección El Ahogado ha presentado los niveles más altos, seguida por la Sección Norte (Fig. 8).

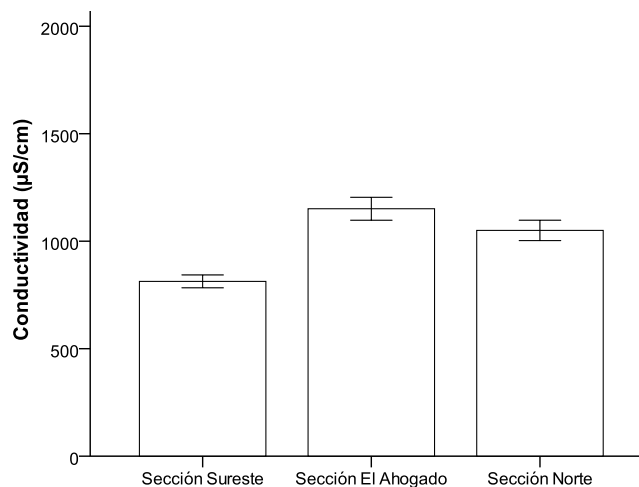


Figura 8. Conductividad promedio (y error estándar) por sección en el periodo 2005-2012.

### Nitrógeno Amoniacal: 2005-2012

El nitrógeno amoniacal ( $N-NH_3$ ) es un compuesto presente de forma natural en los ecosistemas acuáticos, pero se vuelve peligroso cuando rebasa ciertos niveles debido a su alta toxicidad. Es un

indicador de contaminación antropogénica por descargas de agua residual de origen municipal, que son ricas en nitrógeno. El  $N-NH_3$  es parte del ciclo del nitrógeno y está relacionado con el proceso de eutrofización. De acuerdo con los registros históricos, el  $N-NH_3$  ha aumentado en los últimos años en el Río Grande de Santiago (Fig. 9). Desde 2005 se ha mantenido hasta 100 veces por arriba del límite de 0.06 mg/l establecido en la LFD; lo cual debe sin embargo interpretarse con reservas, pues probablemente este límite sea demasiado conservador. Se puede ver que durante los meses de lluvias la concentración del  $N-NH_3$  disminuye (Fig. 10). Al comparar las secciones del río, resalta la Sección El Ahogado por tener una concentración mucho mayor (Fig. 11).

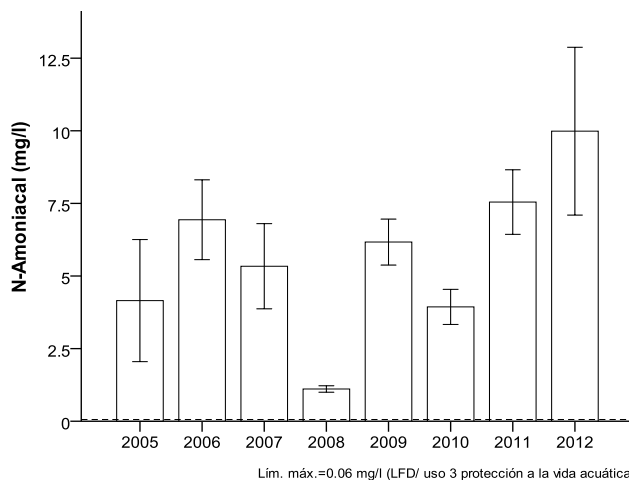


Figura 9. Concentración anual promedio (y error estándar) de nitrógeno amoniaco en la zona de estudio.

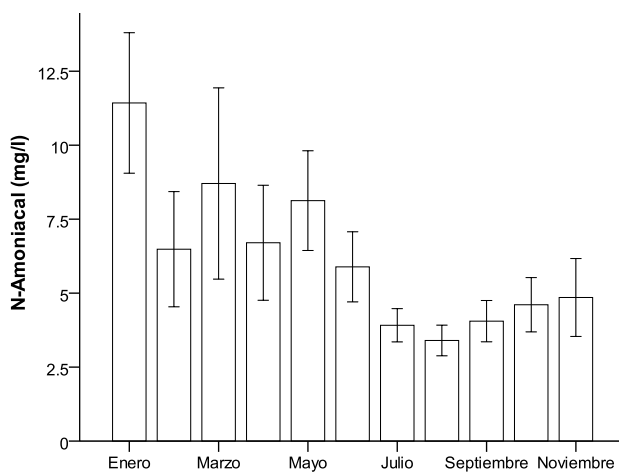


Figura 10. Concentración mensual promedio (y error estándar) de nitrógeno amoniaco en la zona de estudio en el periodo 2005-2012.

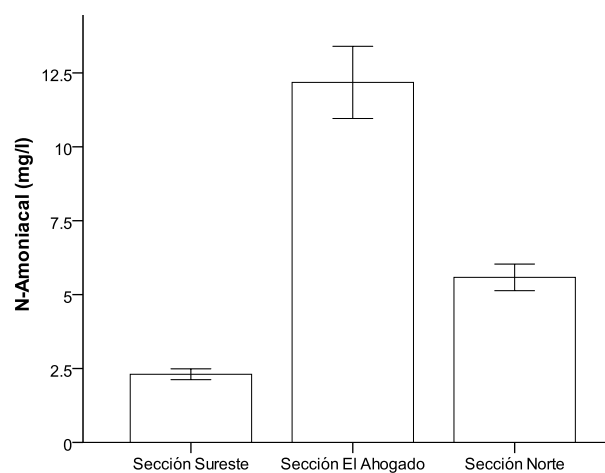


Figura 11. Concentración promedio (y error estándar) de nitrógeno amoniaco por sección en el periodo 2005-2012.

### Fósforo: 2006-2012

Al igual que el nitrógeno, el fósforo es un compuesto que ocurre naturalmente en los ecosistemas acuáticos, pero se vuelve preocupante cuando rebasa ciertos niveles. Es de igual manera, un

indicador de contaminación antropogénica que alcanza los cuerpos de agua por las descargas de origen municipal. El fósforo también interviene en el proceso de eutrofización. Como ocurre con el  $N-NH_3$ , el límite asentado en la LFD es probablemente demasiado restrictivo, por lo que su comparación con las concentraciones reportadas no es informativa (Fig. 12). Las concentraciones de fósforo presentan una ligera reducción en los meses de julio a octubre, lo que parece coincidir con la época de lluvias (Fig.13). De nuevo, la Sección El Ahogado resulta ser en la que se encuentra la mayor concentración de fósforo en el río (Fig. 14).

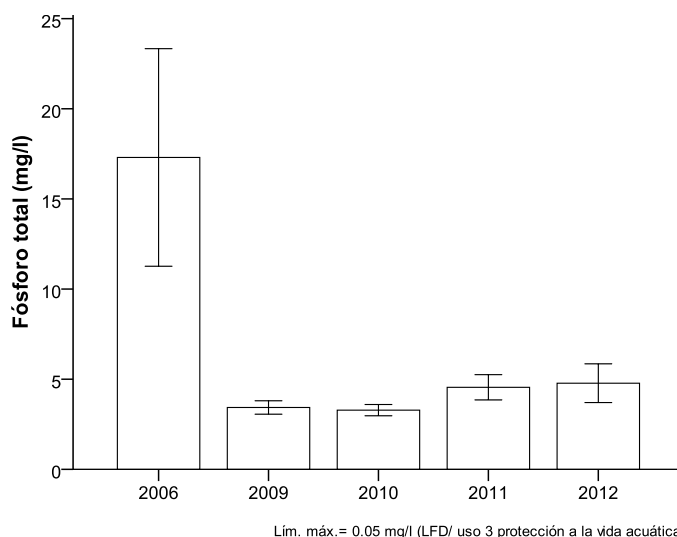


Figura 12. Concentración anual promedio (y error estándar) de fósforo en la zona de estudio.

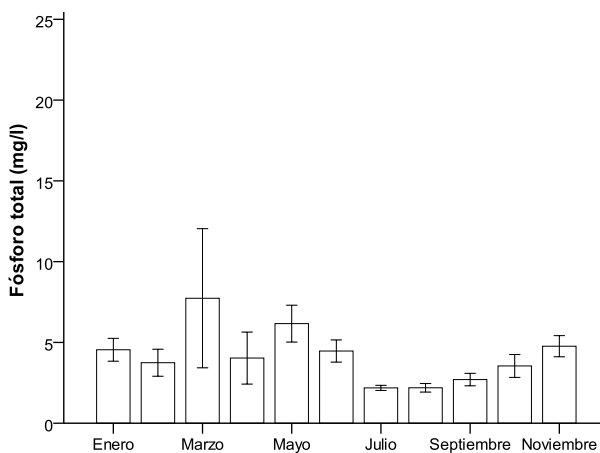


Figura 13. Concentración mensual promedio (y error estándar) de fósforo en la zona de estudio en el periodo 2006-2012.

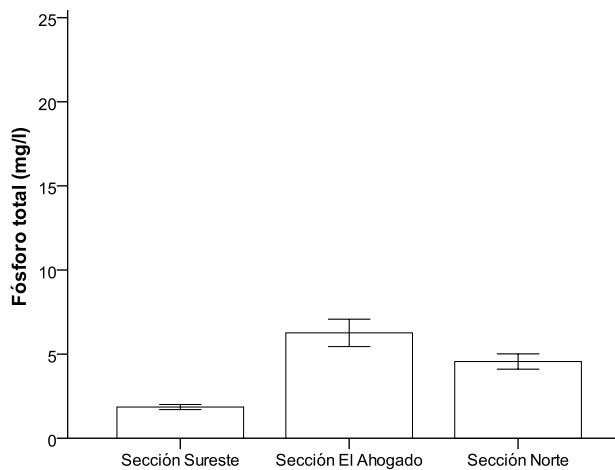


Fig. 14. Concentración promedio (y error estándar) de fósforo por sección en el periodo 2006-2012.

Los sólidos disueltos totales en la zona de estudio se incrementaron de 560 mg/l en 2005 a 887 mg/l en 2012 (Fig. 15). Como es de esperarse, en los meses de julio a septiembre la concentración disminuye, como resultado de la precipitación pluvial (Fig. 16). Como en los casos anteriores, es la

Sección El Ahogado en la que se encuentra la concentración más significativa de sólidos disueltos ( $730 \pm 30.51$  mg/l).

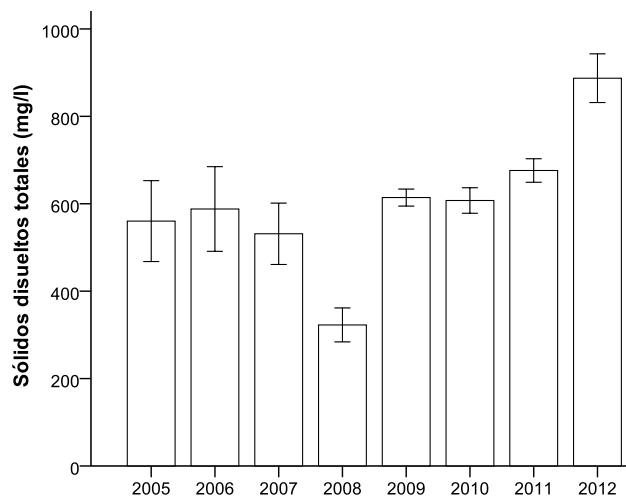


Figura 15. Concentración anual promedio (y error estándar) de sólidos disueltos en la zona de estudio.

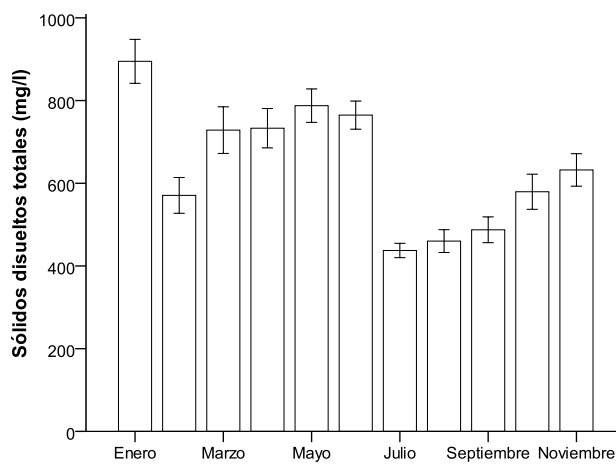


Figura 16. Concentración mensual promedio (y error estándar) de sólidos disueltos totales en la zona de estudio en el periodo 2005-2012.

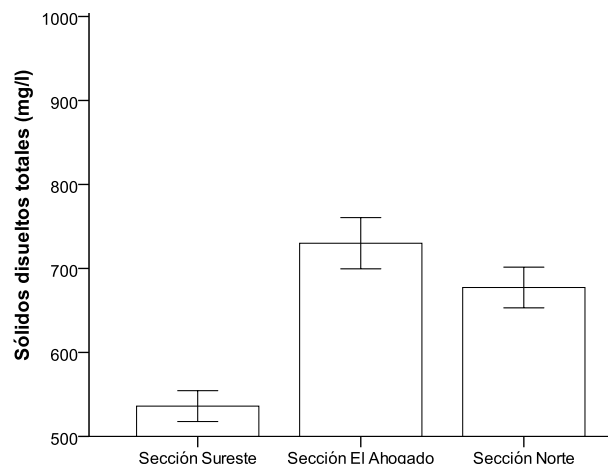


Figura 17. Concentración promedio (y error estándar) de sólidos disueltos totales por sección en el periodo 2005-2012.

### Sólidos Suspendidos Totales: 1990-2012

De acuerdo con los registros históricos, los sólidos suspendidos han sobrepasado el límite que la LFD establece en 30 mg/l en la mayoría de los años. Sólo en 2005 y 2006 este parámetro tuvo valores aceptables. En 2008 se registró el nivel de sólidos suspendidos más alto; 100 veces mayor que el límite (Fig. 18). En los meses de julio a septiembre la concentración disminuye,

probablemente como resultado de la temporada de lluvias. Sin embargo, en la temporada de estiaje los datos exhiben un comportamiento inconsistente (Fig. 19). A diferencia de los parámetros de calidad de agua anteriores, las secciones Sureste y El Ahogado presentan niveles similares de sólidos disueltos totales y la Sección Norte un nivel inferior (Fig. 20).

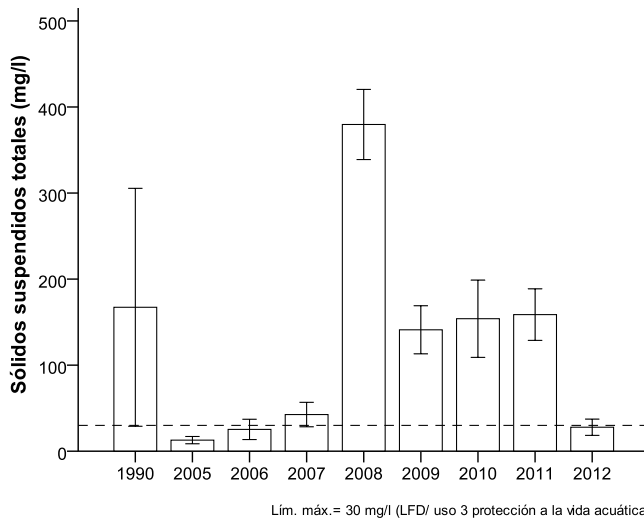


Figura 18. Concentración anual promedio (y error estándar) de sólidos suspendidos en la zona de estudio.

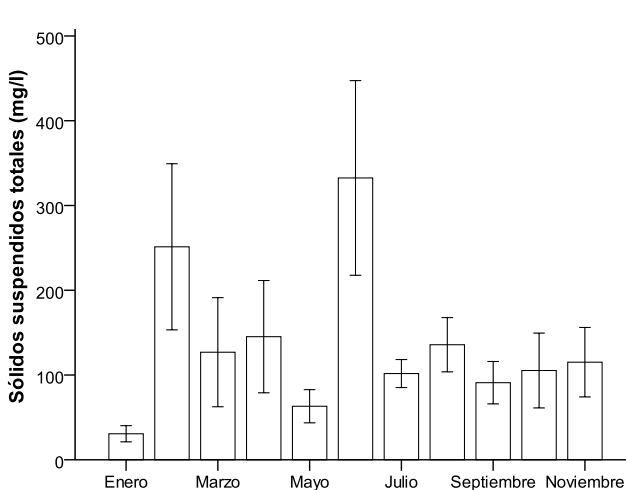


Figura 19. Concentración mensual promedio (y error estándar) de sólidos suspendidos en la zona de estudio en el periodo 1990; 2005-2012.

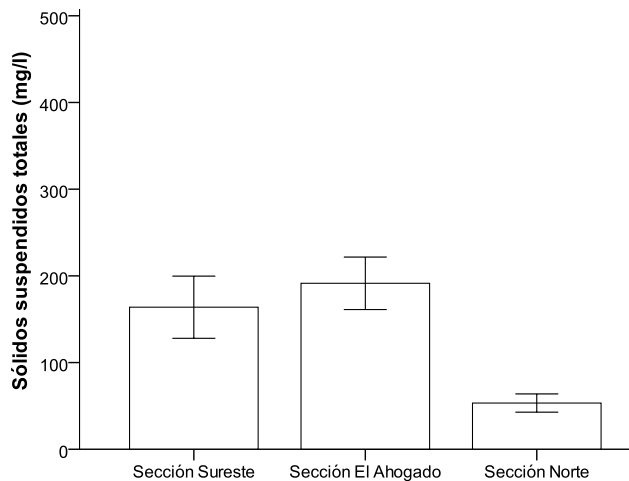


Figura 20. Concentración promedio (y error estándar) de sólidos suspendidos totales por sección en el periodo 1990; 2005-2012.

## Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>): 1990-2012

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) ha ido en aumento desde hace al menos dos décadas en la zona de estudio (aunque desconocemos su comportamiento en el periodo 1991-2004). En 2008 rebasó por primera vez el límite de 30 mg/l que se establece en el Índice de Calidad de Agua de la CONAGUA bajo el criterio de protección de la vida acuática en ríos (Fig. 21). Al comparar los niveles por sección, se puede ver que la Sección El Ahogado excede por mucho a las otras dos. En las secciones Sureste y Norte el parámetro se ha mantenido por debajo de los 30 mg/l (Fig. 22). Lo anterior indica que la carga de materia orgánica en la zona de la Presa El Ahogado es comparativamente mucho mayor.

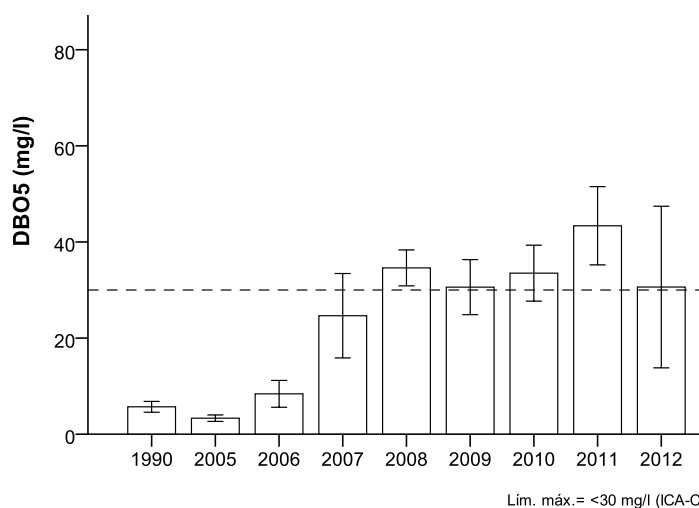


Figura 21. Valor anual promedio (y error estándar) de la demanda bioquímica de oxígeno en la zona de estudio.

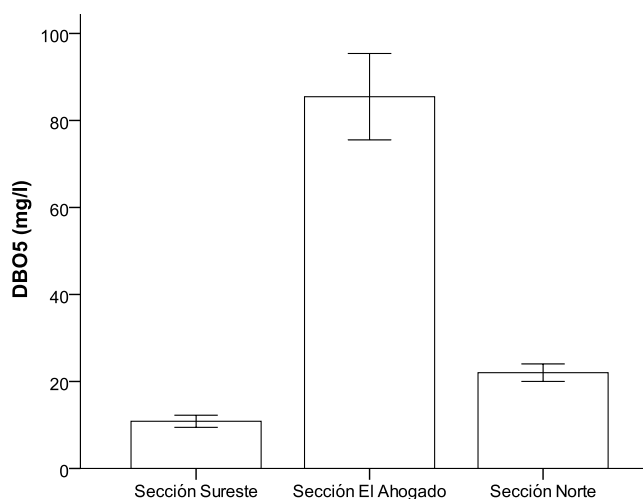


Figura 22. Valor promedio (y error estándar) de la demanda bioquímica de oxígeno por sección en el periodo 1990; 2005-2012.

## Demanda Química de Oxígeno (DQO): 2005-2012

La demanda química de oxígeno (DQO) muestra una tendencia a aumentar desde 2005, el primer año con registro de este parámetro. Durante todo el periodo se ha mantenido por arriba del límite de 40 mg/l que establece el Índice de Calidad de Agua de la CONAGUA bajo el criterio de protección de la vida acuática en ríos (Fig. 23). Nuevamente, la sección con el nivel más alto de este parámetro, y por lo tanto la fuente primordial de contaminación para el Río Grande de Santiago, es la Sección El Ahogado (Fig. 24).

La DBO<sub>5</sub> y la DQO exhiben un comportamiento paralelo a lo largo de la zona de estudio (Fig. 25). Este comportamiento ratifica lo esperado de manera *a priori*: la carga por contaminación en la Presa y Arroyo El Ahogado es significativamente mayor que en el Río Grande de Santiago. Después de recibir este aporte, el proceso de autodepuración del río reduce significativamente los niveles de contaminación.

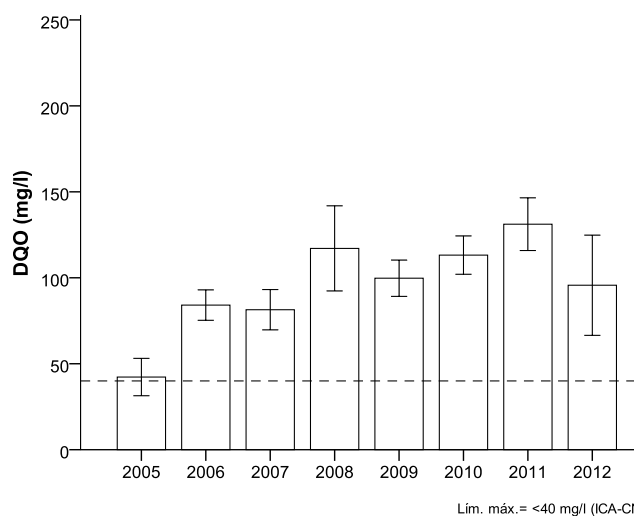


Figura 23. Valor <sub>anual</sub> promedio (y error estándar) de la demanda química de oxígeno en la zona de estudio.

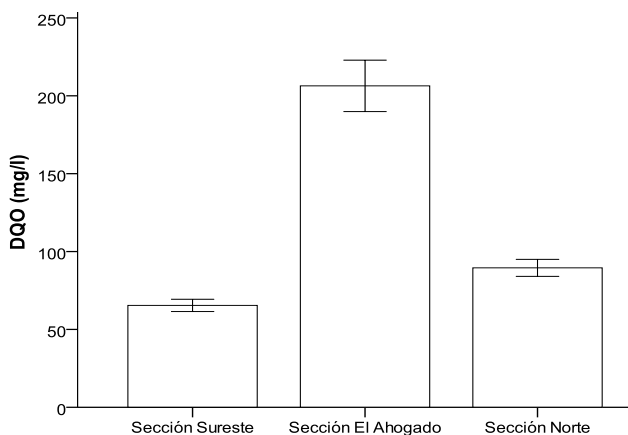


Figura 24. Valor promedio (y error estándar) de la demanda química de oxígeno por sección en el periodo 2005-2012.

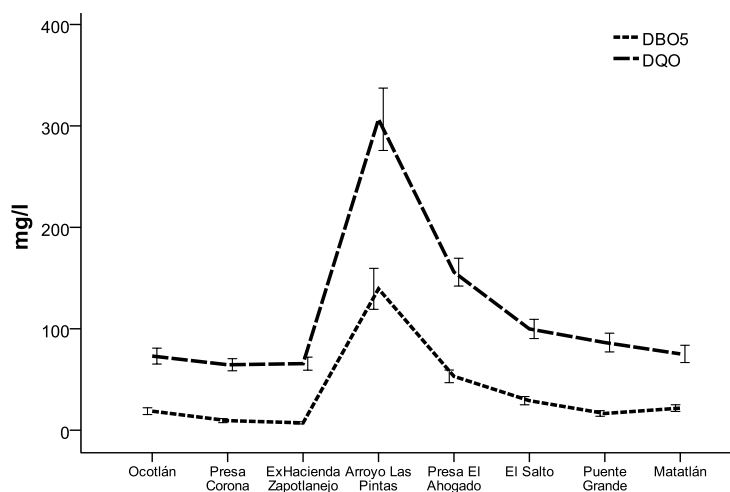


Figura 24. Valor promedio (y error estándar) de los parámetros DBO<sub>5</sub> y DQO en las estaciones de muestreo en el periodo de 2005-2012.

### Metales pesados: 2006-2012

Entre los contaminantes más importantes en cuerpos de agua superficiales se encuentran los metales pesados. Estos compuestos son universalmente medidos en ríos, lagos y otras fuentes de abastecimiento de agua debido a su relación con la salud pública y la integridad de los ecosistemas. Es importante mencionar que la presencia y concentración de metales en el cuerpo de agua no son suficientes para determinar un riesgo a la salud debido a que el ambiente influye sobre la disponibilidad y toxicidad de los metales para los sistemas biológicos (ver Capítulo 3). Entre los metales que se han asociado con efectos adversos a la salud se encuentran el arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, plomo y zinc (EPA 1986).

Las medias de las concentraciones de los metales pesados reportados en el periodo 2006-2012 se encuentran por arriba de los límites máximos permitidos en cinco casos (Tabla 3). El aluminio siempre ha estado por arriba del límite y alcanzó su máxima concentración en 2011 (cuando excedió el límite por un factor de 46). El arsénico se ha mantenido muy por debajo del límite establecido en la LDF consistentemente. El bario ha rebasado por mucho el límite en los cuatro años para los que se tiene registro. En el caso del cadmio, la concentración ha ido en aumento a lo largo del período de 2006 a 2012. El cobre superó el límite de la LDF en 2009 y 2010 y marginalmente en 2011. El cromo se ha mantenido justo en el límite en los tres últimos años. El fierro ha excedido ligeramente el límite durante los tres últimos años. No se ha establecido límite para el manganeso. El mercurio, como el aluminio bario, cromo, fierro y cobre ha alcanzado concentraciones superiores al límite en los tres últimos años. El níquel y el plomo en cambio se han mantenido muy por debajo del límite fijado. Por último, el zinc ha rebasado consistentemente el umbral fijado en la ley (ver Figs. 25a-l). Al analizar los datos por sección, encontramos diferencias significativas entre la sección El Ahogado y las demás secciones para las concentraciones de aluminio (Kruskal-Wallis,  $X^2_2=20.3$ ,  $p<0.001$ ), hierro ( $X^2_2=11.4$ ,  $p=0.003$ ), manganeso ( $X^2_2=27.6$ ,  $p<0.001$ ) y zinc ( $X^2_2=19.8$ ,  $p<0.001$ ) (Fig. 26).

Tabla 3. Concentración media de los principales metales pesados, cianuro, naftaleno, cloroformo y tolueno en la zona de estudio.

| Parámetros              | N          | Media (mg/l)         | Mínimo       | Máximo       | Límites máximos LFD | Límites máximos NOM <sup>1</sup> |
|-------------------------|------------|----------------------|--------------|--------------|---------------------|----------------------------------|
| Aluminio                | 195        | 1.5(0.17)            | 0.007        | 17.770       | 0.05                | -                                |
| Arsénico                | 198        | 0.007(0.00)          | 0.000        | 0.100        | 0.2                 | 0.1                              |
| <b>Bario</b>            | <b>176</b> | <b>0.126(0.00)</b>   | <b>0.005</b> | <b>0.607</b> | <b>0.01</b>         | -                                |
| Cadmio                  | 198        | 0.0018(0.00)         | 0.000        | 0.041        | 0.004               | 0.1                              |
| Cobre                   | 198        | 0.076(0.00)          | 0.000        | 0.224        | 0.05                | -                                |
| <b>Cromo</b>            | <b>198</b> | <b>0.049(0.00)</b>   | <b>0.000</b> | <b>0.069</b> | <b>0.05</b>         | <b>0.5</b>                       |
| <b>Hierro</b>           | <b>195</b> | <b>1.109(0.012)</b>  | <b>0.020</b> | <b>9.860</b> | <b>1.0</b>          | -                                |
| Manganeso               | 195        | 0.329(0.02)          | 0.002        | 1.338        | -                   | -                                |
| <b>Mercurio</b>         | <b>198</b> | <b>0.00077(0.00)</b> | <b>0.000</b> | <b>0.005</b> | <b>0.0005</b>       | <b>0.005</b>                     |
| Níquel                  | 198        | 0.096(0.00)          | 0.000        | 0.100        | 0.6                 | 2                                |
| Plomo                   | 198        | 0.006(0.00)          | 0.000        | 0.100        | 0.03                | 0.2                              |
| Sodio                   | 189        | 83.514(3.00)         | 0.750        | 198.500      | -                   | -                                |
| <b>Zinc</b>             | <b>198</b> | <b>0.112(0.03)</b>   | <b>0.000</b> | <b>6.094</b> | <b>0.02</b>         | <b>10</b>                        |
| Cobalto <sup>2</sup>    | 3          | 0.00268(0.00)        | 0.000        | 0.004        | -                   | -                                |
| Cianuro <sup>2</sup>    | 3          | 0.0024(0.00)         | 0.000        | 0.007        | 0.005 <sup>1</sup>  | 1.0                              |
| Naftaleno <sup>2</sup>  | 3          | 0.0006(0.00)         | 0.000        | 0.001        | 0.02                | -                                |
| Cloroformo <sup>2</sup> | 2          | 0.0037(0.00)         | 0.004        | 0.004        | 0.03                | -                                |
| Tolueno <sup>2</sup>    | 2          | 0.015(0.00)          | 0.010        | 0.020        | 0.2                 | -                                |

LFD: Ley Federal de Derechos 2009 (lineamientos de la calidad de agua), uso 3 para la protección a la vida acuática.

<sup>1</sup>La concentración promedio de 4 días de esta sustancia no debe exceder este nivel más de una vez al año (CNA).

NOM: límites máximos por promedio mensual de acuerdo con la NOM-001-ECOL-1996. <sup>2</sup>Informe de resultados del monitoreo del Río Santiago y el arroyo El Ahogado IMTA (2008). Datos de la Comisión Estatal del Agua del estado de Jalisco en el alto Santiago: 2006-2012.

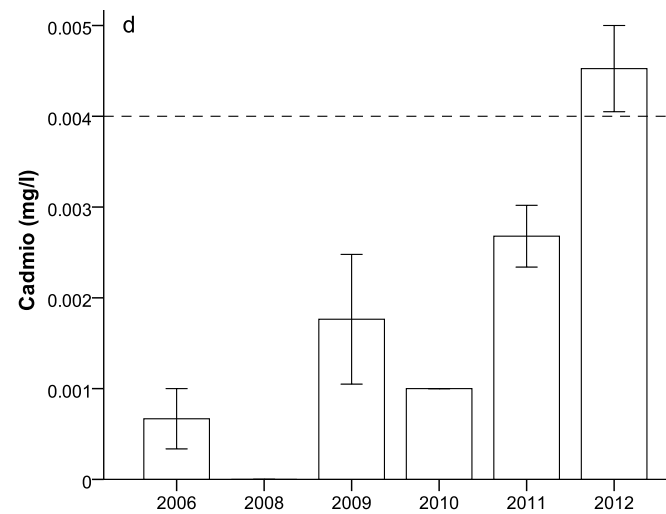
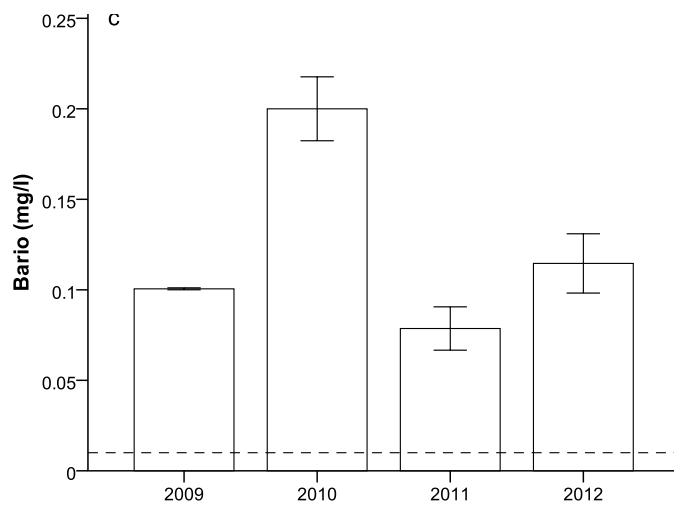
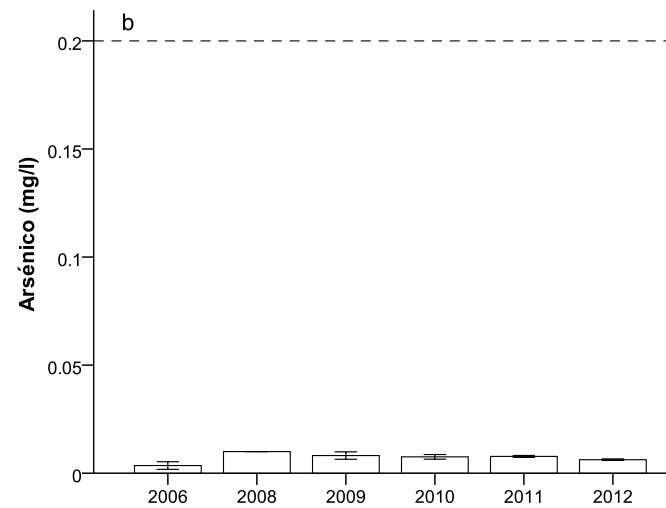
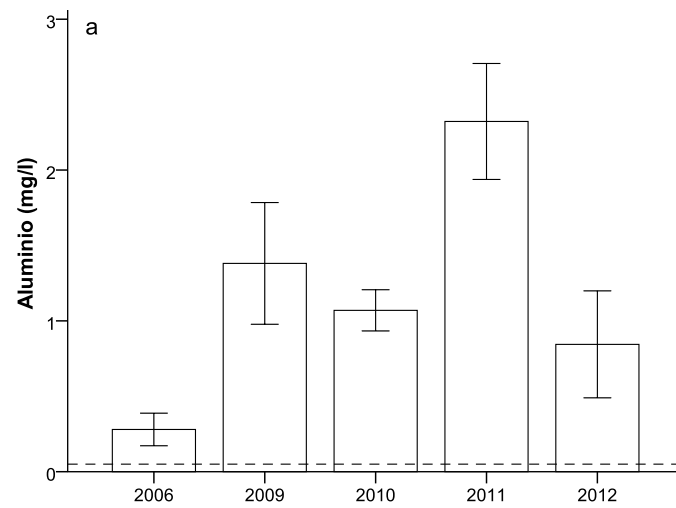


Figura 25a-d. Valor anual promedio (y error estándar) de metales pesados en la zona de estudio

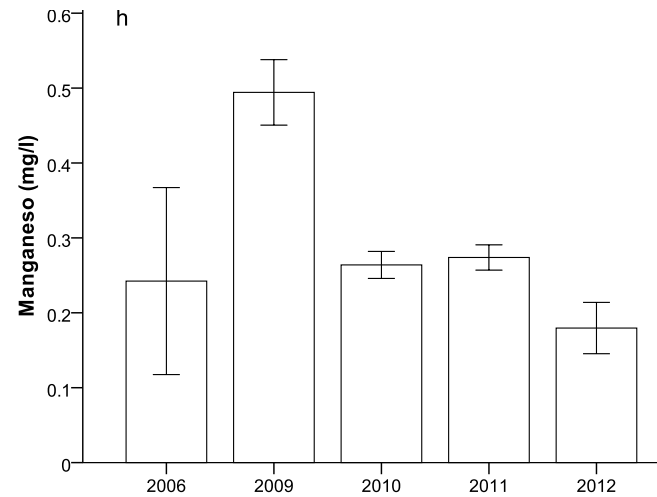
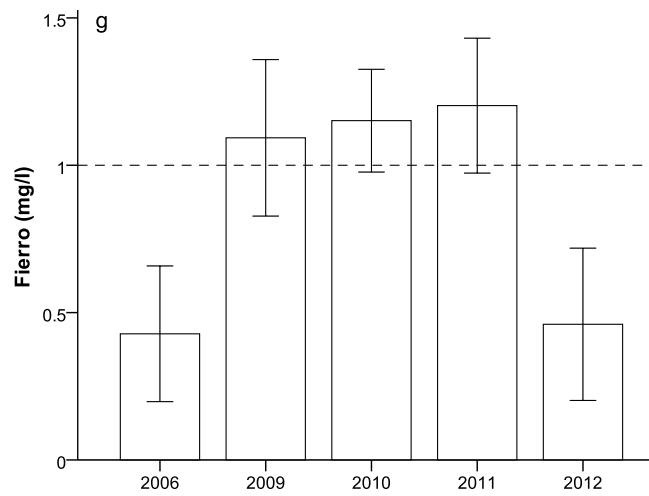
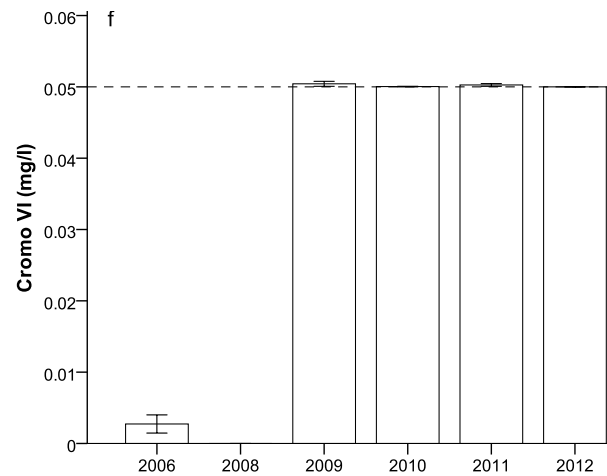
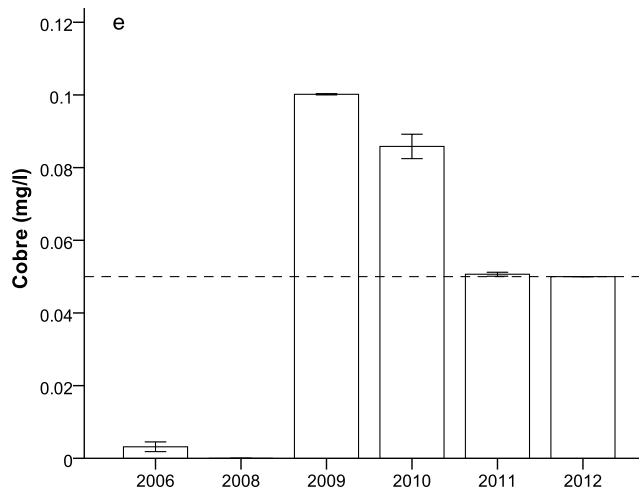


Figura 25e-h. Valor anual promedio (y error estándar) de metales pesados en la zona de estudio

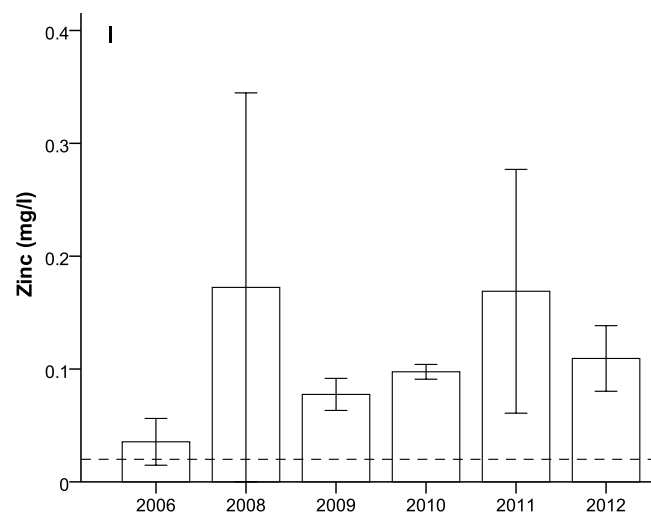
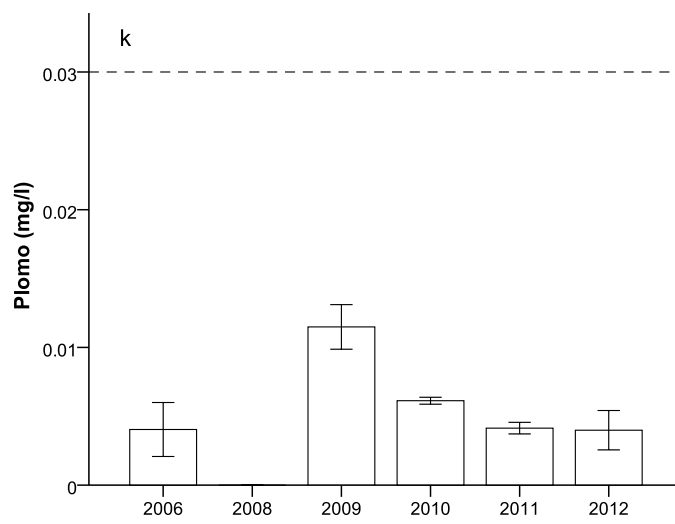
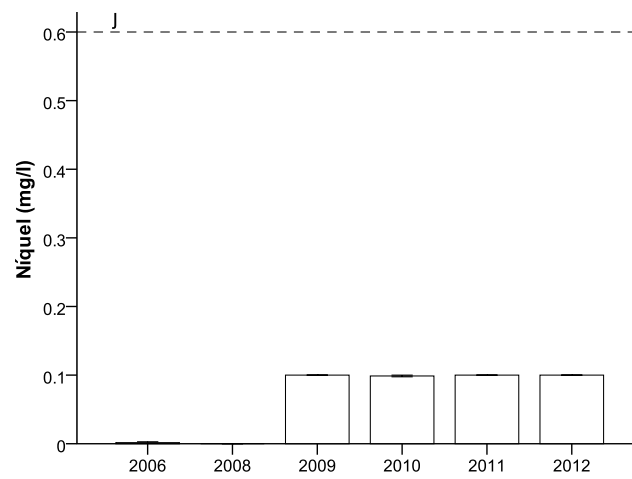
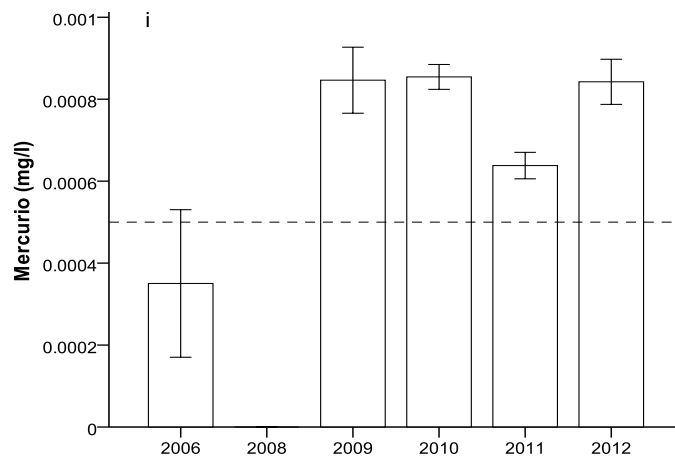


Figura 25i-l. Valor anual promedio (y error estándar) de metales pesados en la zona de estudio.

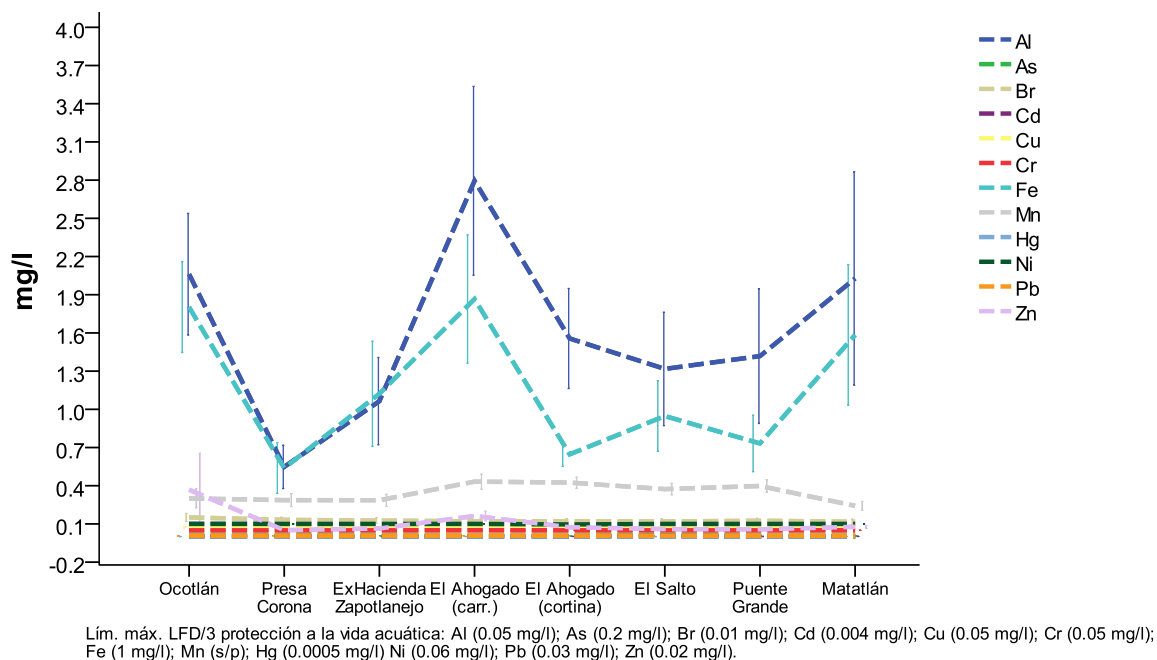


Figura 26. Concentración promedio (y error estándar) de los metales pesados en las estaciones de muestreo en el periodo 2006-2012.

Finalmente, en el informe conjunto del INE/SEDESOL/CINVESTAV-IPN (1994) se reportaron plaguicidas organoclorados en el sistema Lerma-Chapala-Santiago, cubriendo para el Río Grande de Santiago solamente la Presa Corona (Tabla 4).

Tabla 4. Plaguicidas organoclorados reportados en el Río Grande de Santiago.

| Plaguicida              | (mg/l) | Límites máximos LFD |
|-------------------------|--------|---------------------|
| $\alpha$ HCH            | 0.0039 | -                   |
| $\lambda$ HCH (lindano) | 0.0023 | -                   |
| $\beta$ HCH             | 0.0121 | -                   |
| Aldrín                  | 0.0021 | 0.0003              |

LFD: Ley Federal de Derechos 2009 (lineamientos de la calidad de agua), uso 3 para la protección a la vida acuática.

Fuente: INE/ SEDESOL/ CINVESTAV-IPN (1994).

## Estudio de campo

En la segunda etapa del proyecto llevamos a cabo un muestreo para determinar algunos parámetros físicoquímicos de calidad de agua. Incluimos algunas de las estaciones de muestreo de la CEA Jalisco y seleccionamos nuevos sitios con los objetivos de reducir la distancia entre estaciones de muestreo y de evaluar el efecto que tiene la cascada de El Salto sobre los parámetros de calidad de agua (Fig. 1, Cap. 2). Hicimos el muestreo del 9 al 13 de febrero de 2012,

tomamos todas las muestras de agua entre las 11:00 y las 15:00 horas. En cada estación de muestreo colectamos tres muestras de agua (ver Anexo 3). Registramos los parámetros de temperatura, concentración y saturación de oxígeno disuelto, pH, conductividad, potencial óxido-reducción (POR), sólidos disueltos totales y salinidad de cada muestra, utilizando un medidor multiparámetro *Hanna Instruments*, modelo 9829, en el momento. A continuación filtramos las muestras y cuantificamos los parámetros siguientes, empleando un fotómetro multiparámetro *Hanna Instruments*, modelo 83099<sup>4</sup>, que funciona a través de método colorimétrico:

1. Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), nitrógeno amoniacal ( $\text{N-NH}_3$ ), ion amonio ( $\text{NH}_4$ )
2. Nitrato ( $\text{N-NO}_3$ )
3. Óxido nítrico ( $\text{NO}$ ), nitrito ( $\text{NO}_2$ ), ion nitrito ( $\text{N-NO}_2$ ), nitrito de sodio ( $\text{NaNO}_2$ )
4. Fosfato ( $\text{PO}_4$ ), fósforo (P), pentóxido de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )
5. Aluminio (Al), alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
6. Cromo VI (Cr), cromato ( $\text{CrO}_4$ ), dicromato ( $\text{Cr}_2\text{O}_7$ )
7. Níquel (Ni)
8. Zinc (Zn)
9. Demanda química de oxígeno (DQO)

Promediamos los datos y aplicamos una prueba multivariada de conglomerados jerárquico mediante el método de ordenación de Ward, el cual consiste en agrupar las observaciones usando distancias euclidianas, en función de la correlación entre las mismas (Fowler et al., 1998; McKenzie, 2005).

## Resultados del muestreo

En la Tabla 6 mostramos los resultados de las mediciones de parámetros fisicoquímicos registradas durante la visita a la zona de estudio. Observamos que la mayoría de los parámetros en las secciones El Ahogado y Norte superaron los límites máximos de las disposiciones aplicables (LFD 2009).

A continuación presentamos las concentraciones encontradas en formato de mapa. Esto permite visualizar el cambio en las mismas a lo largo del sistema. Las barras representan el promedio de la concentración como aparecen en la Tabla 5 (Figuras 27a-h).

---

<sup>4</sup> Cumple estándares de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)

Tabla 5. Valor promedio de los parámetros registrados en el muestreo.

| Parámetros  | Ocotlán     | Poncitlán   | San Jacinto | Presa Corona | Miraflores  | Arroyo Las Pintas | Presa El Ahogado | La Azucena   | El Salto I  | El Salto II | Puente Grande | Matatlán    |
|---|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|---------------|-------------|
| Temperatura (°C)                                      | 19.47       | 16.7        | 16.44       | 15.31        | 15.41       | 18.44             | 16.18            | 16.34        | 16.05       | 15.79       | 19.42         | 16.33       |
| pH  | 7.52        | 8.13        | 7.69        | 7.61         | 8.13        | 7.73              | 7.62             | 7.90         | 7.91        | 8.05        | 7.84          | 8.18        |
| POR (mV)  | -259.97     | -182.90     | -84.1       | -147.1       | -55.53      | -133.13           | -282.03          | -220.1       | -238.65     | -32.35      | 100.07        | 189.30      |
| Oxígeno disuelto (% saturación)                       | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 9.30         | 23.40       | 8.87              | 0.00             | 0.00         | 0.40        | 11.85       | 1.83          | 59.67       |
| Oxígeno disuelto (mg/l)                               | <b>0.00</b> | <b>0.00</b> | <b>0.00</b> | <b>0.78</b>  | <b>1.95</b> | <b>0.69</b>       | <b>0.00</b>      | <b>0.00</b>  | <b>0.04</b> | <b>0.42</b> | <b>0.16</b>   | <b>5.07</b> |
| Conductividad (µS/cm)                                 | 1072.70     | 1101.00     | 1147.60     | 980.30       | 770.00      | 1604.33           | 1283.3           | 1339.6       | 1431.00     | 1426.00     | 1387.70       | 1322.0      |
| Sólidos disueltos totales (ppm)                       | 536.67      | 553.67      | 582.33      | 490.00       | 385.00      | 802.00            | 641.67           | 670.00       | 715.50      | 713.00      | 695.57        | 686.67      |
| <b>Unidades en mg/l</b>                               |             |             |             |              |             |                   |                  |              |             |             |               |             |
| Salinidad (PSU)                                       | 0.53        | 0.55        | 0.58        | 0.49         | 0.38        | 0.81              | 0.64             | 0.68         | 0.73        | 0.72        | 0.70          | 0.70        |
| Amoniac (NH <sub>3</sub> )                            | 7.57        | 2.66        | 3.17        | 1.55         | 4.71        | 16.07             | 20.09            | 15.25        | 11.08       | 11.12       | 8.97          | 6.32        |
| N Amoniacal (N-NH <sub>3</sub> )                      | <b>6.23</b> | <b>2.19</b> | <b>2.61</b> | <b>1.27</b>  | <b>3.87</b> | <b>13.21</b>      | <b>16.52</b>     | <b>12.33</b> | <b>9.11</b> | <b>9.14</b> | <b>7.37</b>   | <b>5.20</b> |
| Ion Amonio (NH <sub>4</sub> )                         | 8.04        | 2.82        | 3.37        | 1.64         | 4.99        | 17.05             | 21.36            | 16.19        | 11.76       | 11.80       | 9.52          | 6.71        |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> )                            | 0.63        | 0.07        | 0.03        | 0.00         | 0.30        | 9.90              | 4.73             | 2.07         | 0.00        | 0.50        | 1.30          | 4.03        |
| Óxido nítrico (NO)                                    | 2.80        | 0.30        | 0.07        | 0.00         | 1.33        | 61.30             | 20.87            | 9.13         | 0.00        | 2.20        | 5.83          | 17.87       |
| Ion nitrito (N-NO <sub>2</sub> )                      | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00         | 0.00        | 2.33              | 3.00             | 0.33         | 0.50        | 0.00        | 0.33          | 0.67        |
| Nitrito (NO <sub>2</sub> )                            | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.33         | 0.00        | 7.00              | 9.33             | 2.00         | 1.50        | 0.00        | 1.33          | 1.67        |
| Nitrito de sodio (NaNO <sub>2</sub> )                 | 0.33        | 0.00        | 0.00        | 0.33         | 0.00        | 10.67             | 14.00            | 2.67         | 2.50        | 0.00        | 2.00          | 2.33        |
| Fosfato (PO <sub>4</sub> )                            | 10.63       | 6.18        | 4.93        | 3.93         | 5.40        | 12.07             | 28.33            | 10.40        | 10.45       | 14.55       | 10.60         | 14.67       |
| Fósforo (P)   | <b>3.47</b> | <b>4.16</b> | <b>1.60</b> | <b>1.27</b>  | <b>1.77</b> | <b>3.93</b>       | <b>9.20</b>      | <b>3.37</b>  | <b>3.45</b> | <b>4.75</b> | <b>3.47</b>   | <b>4.77</b> |
| Pentóxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 7.93        | 2.63        | 3.70        | 2.90         | 4.03        | 9.03              | 21.17            | 7.77         | 7.80        | 10.90       | 8.00          | 10.97       |

Tabla 5 cont. Valor promedio de los parámetros registrados en el muestreo.

| Parámetros (mg/l)            | Ocotlán | Poncitlán   | San Jacinto | Presa Corona | Miraflores   | Arroyo Las Pintas | Presa El Ahogado | La Azucena    | El Salto I    | El Salto II   | Puente Grande | Matatlán      |
|------------------------------|---------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Aluminio ( $Al^{+3}$ )       | 0.01    | 0.01        | 0.01        | 0.02         | 0.02         | 0.03              | 0.04             | <b>0.05</b>   | 0.03          | 0.02          | 0.02          | 0.02          |
| Alúmina ( $Al_2O_3$ )        | 0.03    | 0.03        | 0.03        | 0.06         | 0.03         | 0.23              | 0.07             | 0.08          | 0.05          | 0.03          | 0.04          | 0.04          |
| Cromo VI ( $Cr^{6+}$ )       | 0.033   | 0.032       | 0.024       | 0.012        | <b>0.060</b> | <b>0.051</b>      | <b>0.089</b>     | <b>0.071</b>  | 0.025         | <b>0.120</b>  | <b>0.087</b>  | 0.044         |
| Cromato ( $CrO_4^{2-}$ )     | 74.00   | 72.00       | 53.33       | 28.00        | 135.00       | 114.33            | 198.67           | 159.00        | 56.00         | 267.50        | 194.67        | 100.67        |
| Dicromato ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) | 69.33   | 66.67       | 49.33       | 26.33        | 125.67       | 106.33            | 185.00           | 148.00        | 52.00         | 249.50        | 181.33        | 93.67         |
| Níquel (Ni)                  | 0.40    | 0.35        | 0.57        | 0.45         | <b>0.91</b>  | 0.47              | <b>0.93</b>      | <b>0.63</b>   | 0.13          | 0.08          | 0.25          | 0.15          |
| Zinc (Zn)                    | 0.00    | <b>0.03</b> | <b>0.04</b> | <b>0.02</b>  | 0.00         | 0.00              | 0.00             | <b>0.02</b>   | <b>0.02</b>   | 0.01          | <b>0.03</b>   | 0.11          |
| Demanda química de oxígeno   | 12.00   | 3.00        | 16.00       | 11.00        | 15.00        | <b>660.00</b>     | <b>2009.00</b>   | <b>792.00</b> | <b>404.50</b> | <b>803.00</b> | <b>162.00</b> | <b>252.00</b> |

En negritas: parámetros que exceden el límite en la LFD.

El oxígeno disuelto estuvo por debajo del límite e incluso por debajo de 2 mg/l en todas las estaciones de muestreo (Tabla 5) menos en Matatlán, donde tuvo un valor aceptable, lo que coincide con los datos observados en los registros históricos. Esta estación fue la única en la que observamos invertebrados acuáticos.

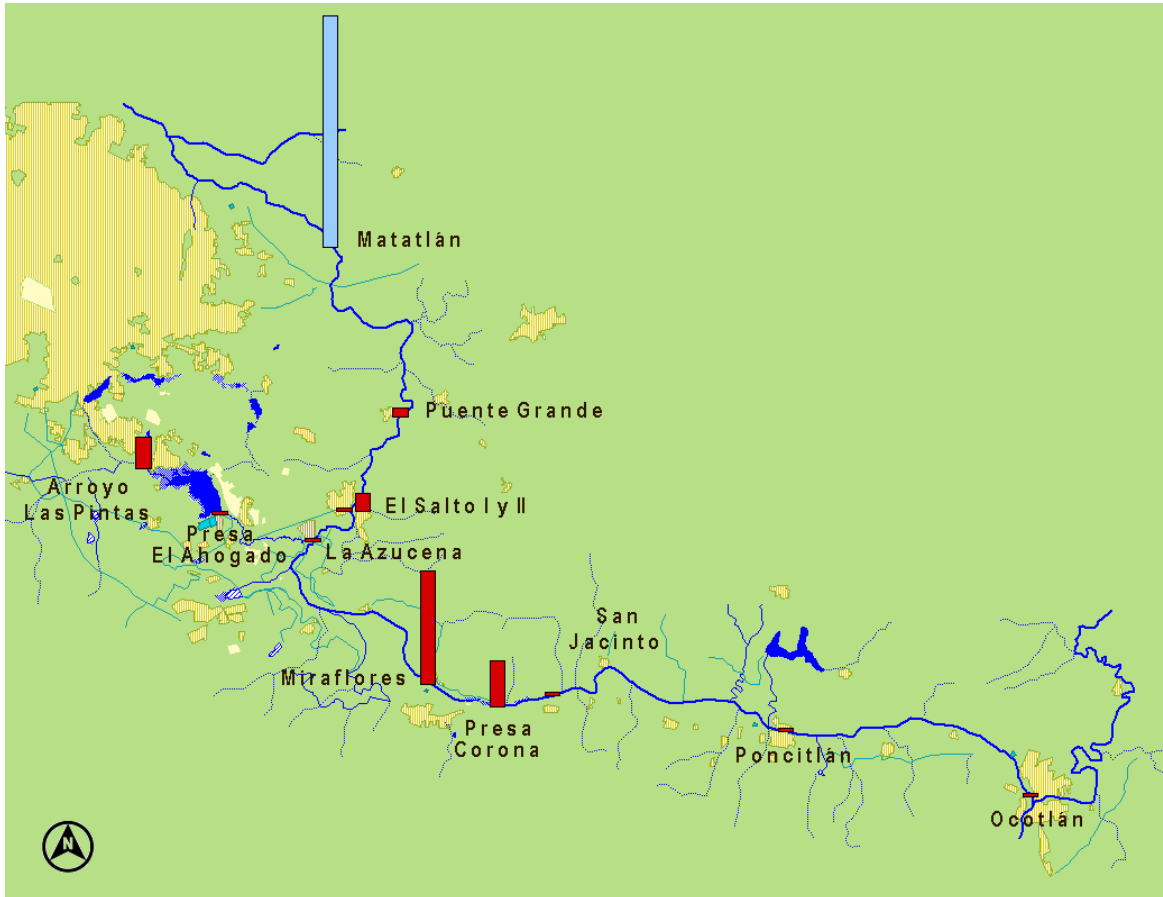


Figura 27a. Niveles de oxígeno disuelto. En rojo se muestran los niveles por debajo del límite (5 mg/l).

En el caso de los nutrientes, el nitrógeno amoniacal y el fósforo, las mediciones registradas en todas las estaciones de muestro estuvieron por arriba de los límites máximos de la LFD y coinciden con los reportes de la CEA Jalisco. El nitrógeno amoniacal presentó los niveles más altos en la presa y Arroyo El Ahogado, niveles ligeramente inferiores en la Sección Norte y relativamente bajos en la Sección Sureste (Fig. 27b). El patrón de concentraciones del fósforo fue similar (Fig. 27c).

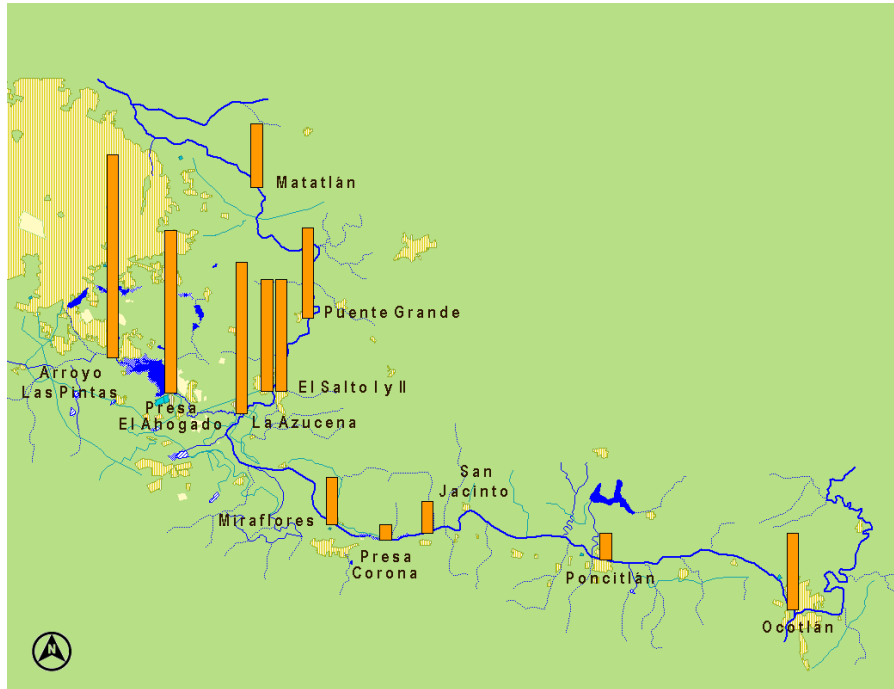


Figura 27b. Niveles de nitrógeno amoniacal. Todas las mediciones exceden el límite (0.06 mg/l).

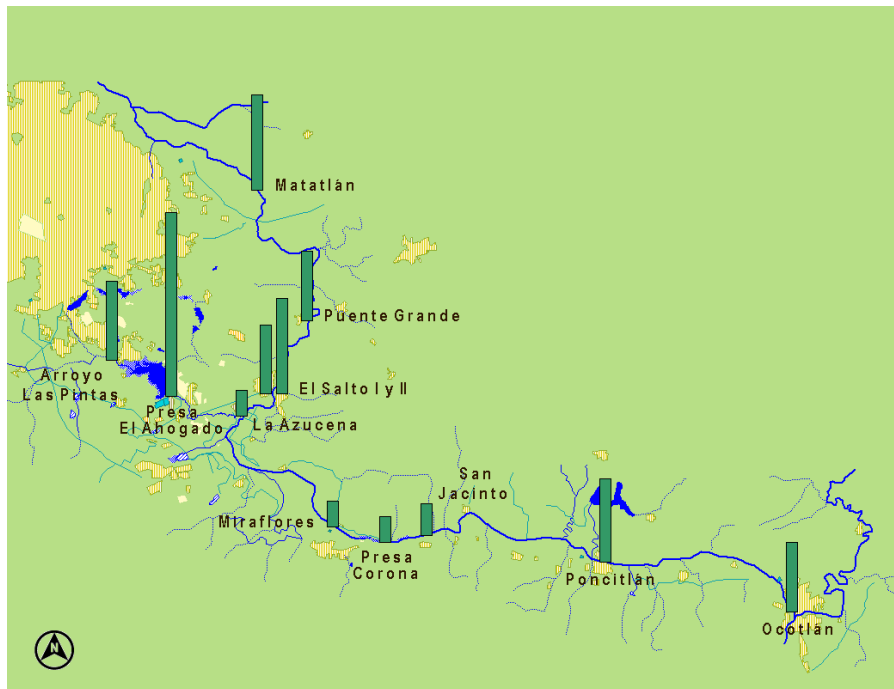


Figura 27c. Niveles de fósforo. Todas las mediciones exceden el límite (0.05 mg/l).

Encontramos que el aluminio presentó niveles considerablemente altos en las secciones El Ahogado y Norte en comparación con la Sección Sureste. La concentración más alta ocurrió en la confluencia del Arroyo El Ahogado y el Río Grande de Santiago (La Azucena) (Fig. 27d).

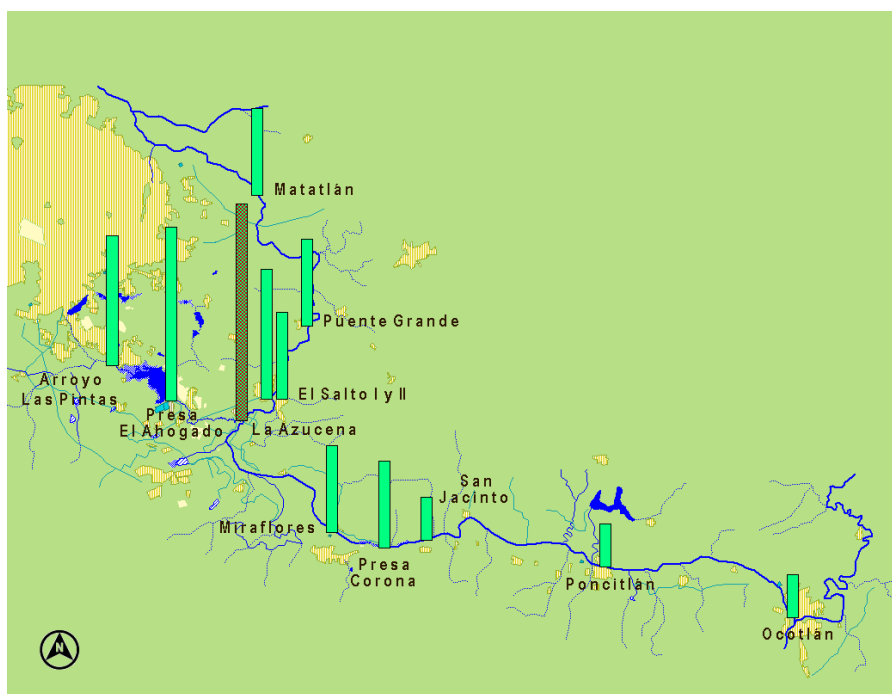


Figura 27d. Niveles de aluminio. En color oscuro se muestra el nivel en el límite (0.05 mg/l).

Para el caso del cromo VI, encontramos un patrón similar al del aluminio. Una estación en la Sección Sureste, Miraflores, y cuatro en el resto de la zona de estudio, exceden el límite establecido. Una más se encuentra en el límite (Fig. 27f). La concentración encontrada en la estación Miraflores puede sugerir la presencia de una fuente de emisión de este metal entre ésta y la anterior (Presa Corona).

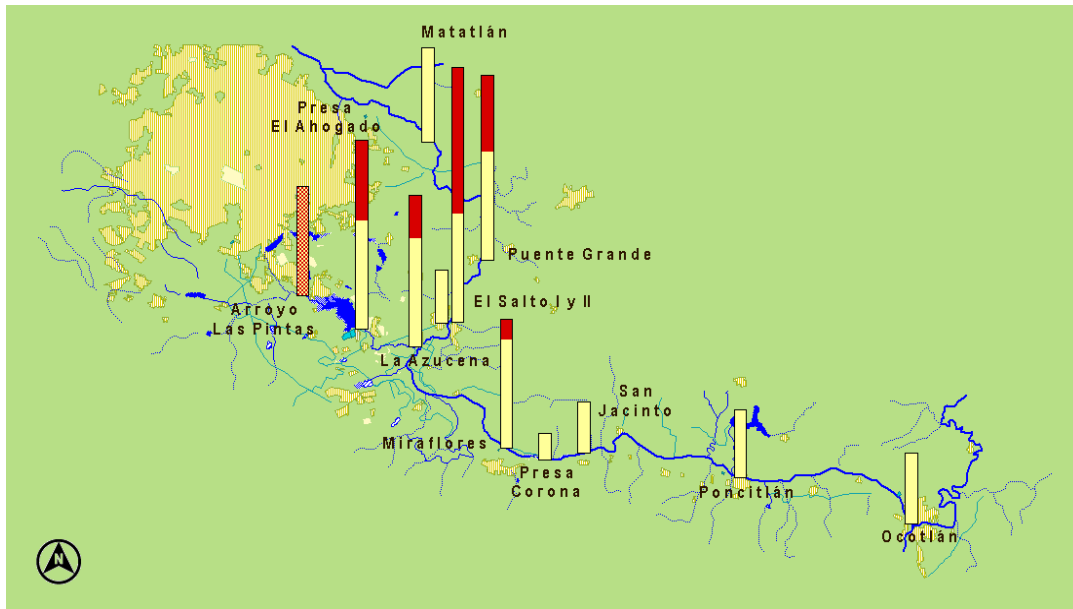


Figura 27e. Niveles de cromo VI. En rojo se muestran los niveles por arriba del límite (0.05 mg/l).

El níquel presentó niveles superiores al límite en las estaciones de muestreo Miraflores, Presa El Ahogado y La Azucena; punto de confluencia del Arroyo El Ahogado con el Río Grande de Santiago. Nuevamente la concentración de níquel en Miraflores sugiere una fuente importante en un punto previo (Figura 27f). En este caso y el anterior existe un descenso de los niveles en la estación Matatlán.

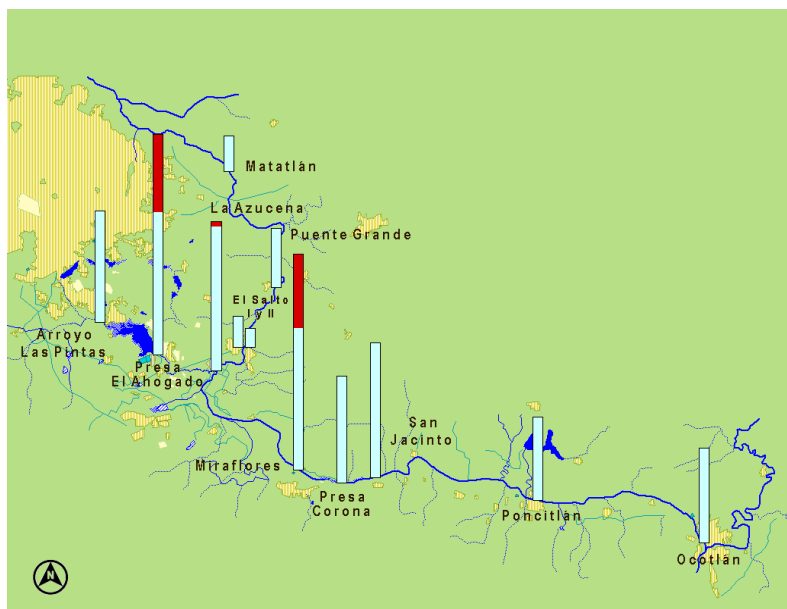


Figura 27f. Niveles de níquel. En rojo se muestran los niveles por arriba del límite (0.06 mg/l).

El patrón exhibido por el zinc difiere de los anteriores. Excedió el límite en todas las secciones del río aunque, notablemente, no se detectó en el Arroyo Las Pintas ni en la Presa El Ahogado y su concentración más alta ocurrió en Matatlán (Fig. 27g).

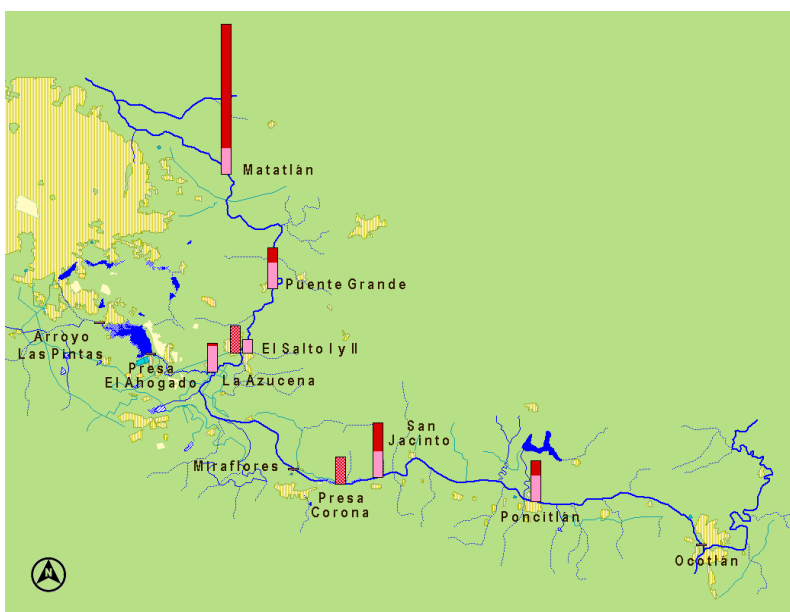


Figura 27g. Niveles de zinc. En rojo se muestran los niveles por arriba del límite (0.02 mg/l).

La DQO presentó valores contrastantes entre la Sección Sureste y las otras dos. Los valores en la Sección El Ahogado fueron particularmente elevados, en especial en la Presa El Ahogado, donde tuvo un valor 10 veces mayor al límite (Fig. 27h).

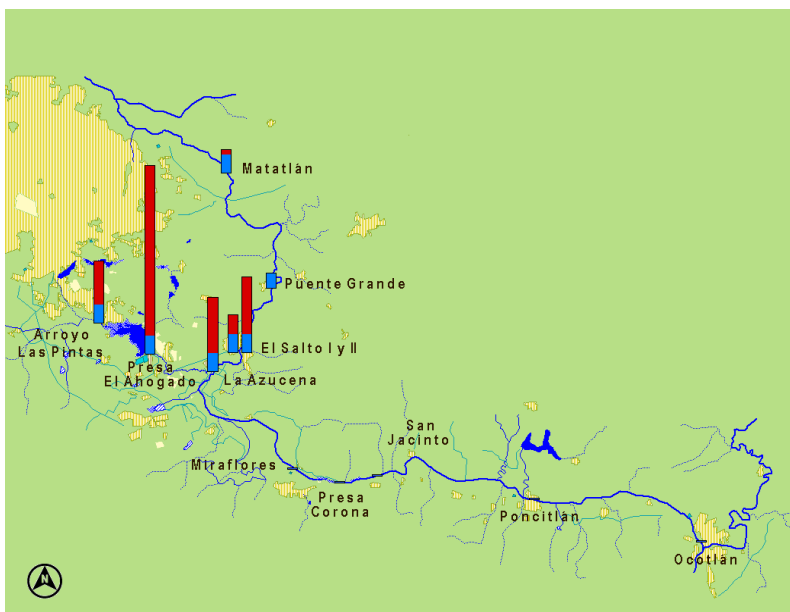


Figura 27h. Niveles de DQO. En rojo se muestran los niveles por arriba del límite (200 mg/l).

## Potencial redox y análisis de conglomerados

El potencial de oxido-reducción o redox se define como la afinidad de una sustancia o compuesto a adquirir electrones y por lo tanto reducirse. En todas las estaciones de muestreo excepto Puente Grande y Matatlán el potencial redox tuvo valores negativos (Tabla 5), lo que indica que son ambientes en los que predominan las reacciones de reducción. Sólo en Puente Grande y Matatlán existen ambientes oxidantes (Fig. 28). Tanto el potencial redox como el pH son determinantes en la adsorción, desorción, disponibilidad y toxicidad de metales pesados en solución acuosa (Yin y Allen, 2000).

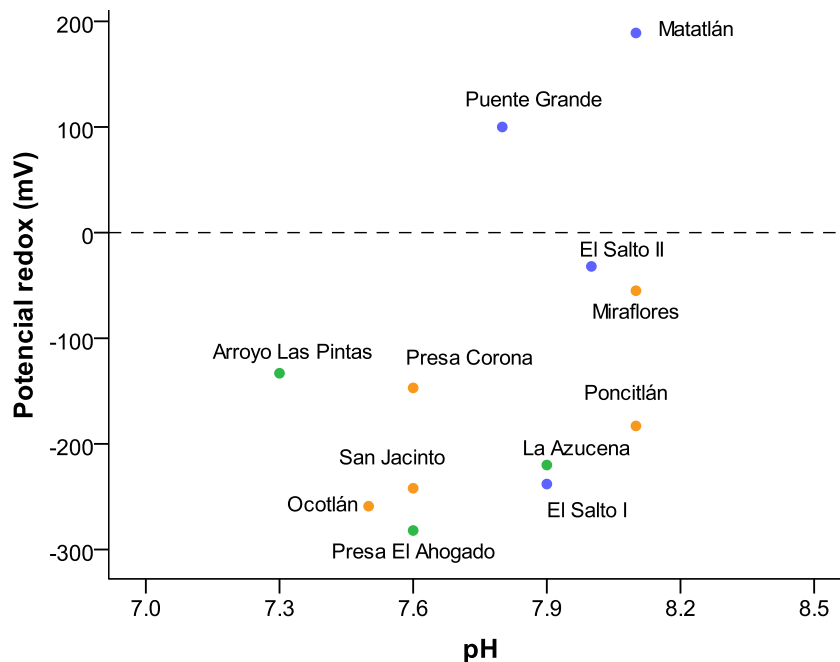


Figura 28. Potencial redox y pH en las estaciones de muestreo, codificadas por sección.

Aplicamos un análisis de conglomerados jerárquico (ACJ) a los datos no redundantes presentados en la Tabla 6. Los análisis de conglomerados agrupan conjuntos de datos que poseen varios atributos en grupos, de acuerdo a su similitud global. Como resultado, los sitios de muestreo se agregaron en dos grupos con un 25.75% de similitud, el primero compuesto por las estaciones Ocotlán, Poncitlán, Presa Corona, San Jacinto, Miraflores, Puente Grande y Matatlán, y el segundo por la Presa El Ahogado, Arroyo Las Pintas, La Azucena, El Salto I y El Salto II. El primer grupo se descompone a su vez en dos subgrupos con un 80.9% de similitud, el subgrupo Ocotlán-Miraflores y el subgrupo Puente Grande-Matatlán. En el segundo grupo se separan, con un 88.35% de similitud, La Presa El Ahogado y todos los demás (Fig. 29). La agrupación corresponde bastante bien en términos generales a lo esperado por la geografía y la zonificación del río (secciones Sureste, El Ahogado y Norte), propuestas de manera independiente. Es interesante notar la posición de la estación Presa El Ahogado y del subgrupo Puente Grande-Matatlán en el dendrograma del ACJ. La presa es contrastante respecto de los demás sitios y constituye un

subgrupo en sí, debido seguramente a la contaminación intensa de la que es sujeto, por lo que aparece separada de los sitios geográficamente vecinos en el análisis. El subgrupo Puente Grande-Matatlán aparece asociado más cercanamente a los sitios Ocotlán-Miraflores en el dendrograma aun cuando se trata de sitios geográficamente distantes. Las condiciones en la Sección Norte del río son más parecidas a las de la Sección Sureste, presuntamente debido a la disminución en la carga de contaminantes y a los procesos de autodepuración del sistema.

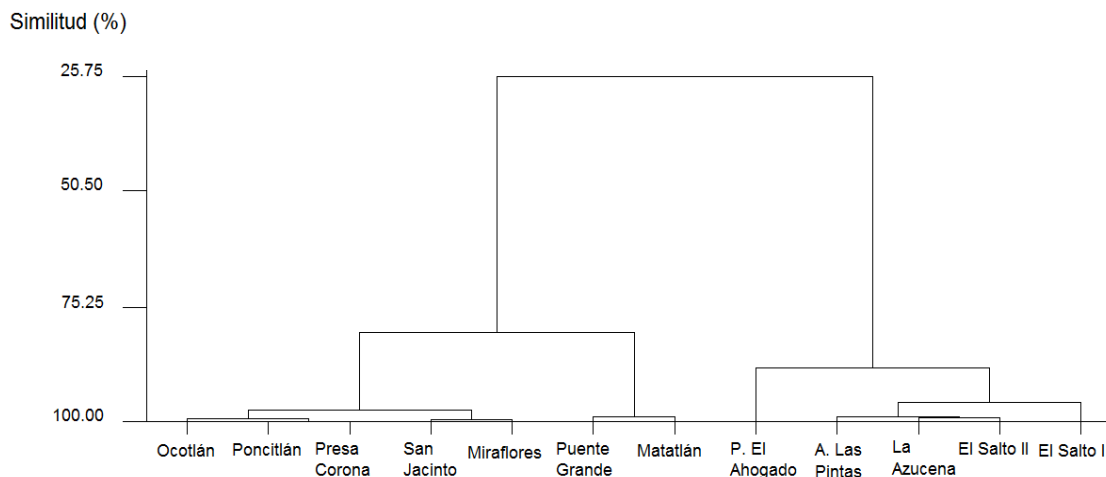


Figura 29. Dendrograma del análisis de conglomerados jerárquico.

## Discusión y Conclusiones

El Río Grande de Santiago ha presentado fuertes niveles de contaminación en el tramo bajo estudio, referidos recientemente en trabajos de Hansen y González-Márquez (2008) y Durán y Torres (2009). La actividad industrial y agropecuaria y las descargas de aguas municipales han sido los factores responsables del deterioro del río. De acuerdo con la información recopilada en este estudio, los parámetros de calidad de agua han estado fuera de los límites establecidos para la protección a la vida acuática por más de 20 años. Los parámetros de calidad de agua no son homogéneos a lo largo del río, en el tramo considerado en este trabajo. La Presa El Ahogado y el arroyo del mismo nombre son claramente los cuerpos con las mayores concentraciones de contaminantes y nutrientes y valores más elevados de DQO. El aporte del Arroyo El Ahogado se traduce en una mala calidad de agua en el Río Grande de Santiago después de su incorporación, que comienza a mejorar gradualmente a partir de la estación Puente Grande.

El problema de contaminación evaluado aquí se enmarca dentro de un contexto de deterioro ecológico más generalizado. Por una parte, el conjunto de industrias asentadas en los márgenes del río descarga una gama de contaminantes más amplia que la descrita (ver Anexo 4). Muchos de estos compuestos se comportan de manera distinta a los metales pesados, es decir,

son movilizados, transformados y asimilados de otras formas. Los organismos acuáticos son siempre los primeros afectados por los procesos de deterioro y muchas de sus poblaciones se han reducido drásticamente o incluso desaparecido (Lyons et al., 1998; Guzmán y Lyons, 2003). Algunos metales pesados se incorporan a las redes tróficas (ver Tabla 4, Capítulo 3) y son bioacumulados por los organismos, con consecuencias negativas para la red trófica puesto que la concentración de éstos pueden biomagnificarse en las especie tope (p. ej., depredadores). El Río Grande de Santiago y sus tributarios se encuentran severamente modificados en la actualidad por obras de ingeniería hidráulica (canales, presas) por lo que su flujo se ha visto disminuido o incluso interrumpido, lo que tiene consecuencias adversas desde el punto de vista ecológico. La alteración en el flujo de los río afecta el proceso natural de depuración, lo que disminuye el transporte de contaminantes, favoreciendo así su depósito local, lo que supone una acumulación mayor en los sedimentos y consecuente afectación para las comunidades biológicas del bentos (Swindoll et al., 2000).

En este trabajo nos enfocamos únicamente en los contaminantes que se monitorean y reportan en la zona, por lo que quedaron fuera un número importante de otras sustancias químicas como hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles, dioxinas, agroquímicos, entre otros que pueden causar un impacto mayor tanto al ecosistema como a los habitantes de la zona. Esta limitante en este trabajo es producto de que en México el monitoreo ambiental es limitado a unos cuantos contaminantes y parámetros fisicoquímicos generales. En consecuencia no hay posibilidades de hacer un análisis completo en términos de evaluación de riesgo ambiental. Por otro lado, el acceso a los datos del monitoreo de la CEA Jalisco fue de gran ventaja puesto que nos permitió generar una base de datos históricos. Sin embargo, este programa de monitoreo es, al menos en nuestro conocimiento, único en su tipo y debería de replicarse en otros cuerpos de agua que presentan problemas similares de contaminación.

## Capítulo 5

# Descargas industriales y municipales

### Introducción

Las emisiones de contaminantes industriales al medio en México son contabilizadas mediante el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), administrado por la SEMARNAT a través de su Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Según la misma Secretaría, el RETC es “una base de datos nacional con información de sustancias contaminantes emitidas al ambiente: aire, agua, suelo y subsuelo o que son transferidas en el agua residual y/o en los residuos peligrosos. La información pública del RETC es: nombre del establecimiento, ubicación y cantidad emitida o transferida de una lista de 104 sustancias, además de las emisiones de contaminantes criterio de las fuentes fijas. Este registro emana del artículo 109 bis de la LGEEPA e integrará información de las diferentes fuentes emisoras de competencia de los tres órdenes de gobierno”. La información del RETC es actualizada anualmente y ha estado disponible al público desde el 2006. El instrumento para recopilar la información del sector industrial de competencia federal es la Cédula de Operación Anual de acuerdo con [www.semarnat.gob.mx/TEMAS/GESTIONAMBIENTAL/CALIDADDELAIRE/Paginas/retc.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/TEMAS/GESTIONAMBIENTAL/CALIDADDELAIRE/Paginas/retc.aspx)). Las 104 sustancias sujetas a reporte en el RETC tienen umbrales de reporte incluidos en el acuerdo emitido por la SEMARNAT (2004) en el que se listan las sustancias en el Registro (‘Acuerdo por el que se determina el listado de sustancias sujetas a reporte de competencia federal para el registro de emisiones y transferencia de contaminantes’).

En el caso de las descargas municipales, el registro es responsabilidad de la CONAGUA a través de las comisiones estatales. El documento que consultamos en este trabajo incluía todo tipo de descargas (industriales, pecuarias, agropecuarias, domésticas, y otros tipos).

### Objetivos y método

En este trabajo consultamos las bases de datos del RETC (con formato de hoja de cálculo) correspondientes a los años de 2004 a 2009, así como el documento ‘Informe Nacional de Emisiones y Transferencias de Contaminantes RETC 2005’ (SEMARNAT 2008) para contar con la información relevante respecto a las fuentes de emisión, grupos de sustancias reportadas a nivel nacional y estatal, y volúmenes emitidos en la zona de estudio. A partir de esta información generamos mapas de fuentes puntuales de emisión de contaminantes para este periodo (Figs. 8a-h, 9). En el momento que realizamos esta investigación, no se encontraba disponible una base de datos para años posteriores al 2009. A esta información se puede acceder únicamente mediante

consultas puntuales a través del portal de la SEMARNAT<sup>5</sup>. Por otra parte, consultamos la base de datos 'Relación de descargas de aguas residuales del Estado de Jalisco', emitida por la CONAGUA (2008), con fines similares.

Geográficamente, consideramos a las plantas industriales ubicadas en los municipios de Chapala, El Salto, Guadalajara, Ixtlahuacán de Los Membrillos, Juanacatlán, Poncitlán, Tlajomulco de Zúñiga, Tlaquepaque, Tonalá, Zapopan y Zapotlanejo, que están incluidos al menos parcialmente dentro del área de estudio. Las industrias asentadas en estos municipios son las que potencialmente contribuyen a la contaminación del Río Grande de Santiago en su tramo Ocotlán-Matatlán.

## Resultados

### Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (RETC)

A partir de la revisión del documento anterior se desprende que en el 2005 existían 21,956 Cédulas de Operación Anual, que interpretamos corresponden a industrias individuales, de las cuales 2,510 (11.4%) reportaron al RETC. Las sustancias que se reportan al RETC se clasifican en ocho clases:

1. Sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO)
2. Compuestos orgánicos persistentes (COP)
3. Metales y sus compuestos
4. Gases de efecto invernadero (GEI)
5. Hidrocarburos aromáticos y alifáticos
6. Sustancias organohalogenadas
7. Plaguicidas y otras sustancias tóxicas
8. Otros

En este trabajo nos enfocamos en el grupo de metales y sus compuestos, que es el grupo más frecuentemente reportado en el país (Figs. 1 y 1a), lo que no necesariamente implica que sea el más frecuentemente emitido. En este grupo se incluyen: arsénico, cadmio y mercurio y sus compuestos, así como compuestos de cromo, níquel y plomo.

---

<sup>5</sup><http://app1.semarnat.gob.mx/retc/retc10pre/retc10/consulta.php?%20enfe=14&muni=14070&sect=02&anio=2010&ncas=71-43-2&tipb=0>

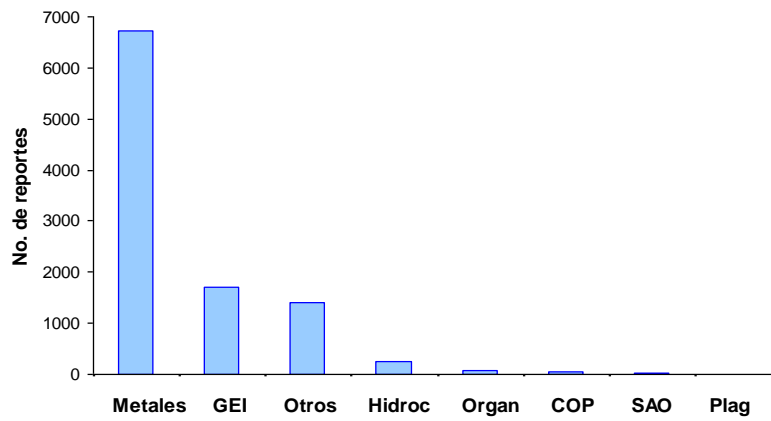


Figura 1. Número de reportes por clase de sustancia en el RETC 2005.

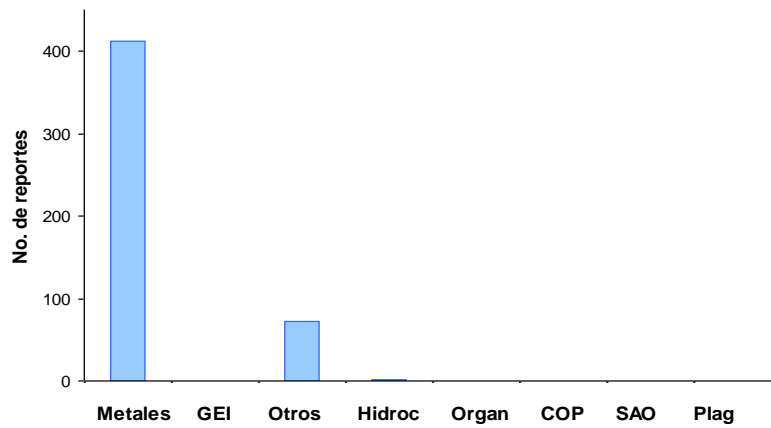


Figura 1a. Número de reportes por clase de sustancia en el RETC 2005 para Jalisco.

Los reportes individuales de contaminantes emitidos al medio acuático resultan ser mucho más numerosos que los emitidos al aire o suelo (Fig. 2).

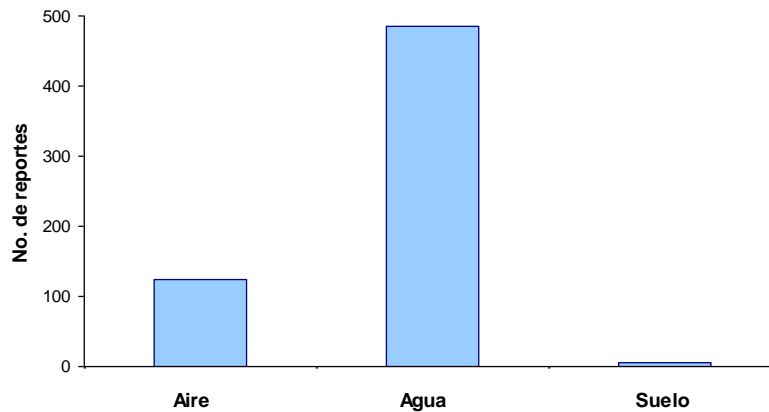


Figura 2. Número de reportes de emisiones al aire, agua y suelo en Jalisco en el RETC 2005.

De las tres gráficas anteriores se desprende el hecho de que las emisiones de metales al agua es claramente la categoría prevalente en el RETC 2005. Esta situación probablemente sea la misma en los registros de años posteriores, sin embargo no existen informes similares al consultado que permitan verificarlo.

### Registros en el área de estudio

Según el RETC 2005, en Jalisco se emitió un total de 34 sustancias químicas en ese año, de las cuales sólo ocho fueron descargadas al agua (Fig. 3). Durante el periodo 2004-2009 se reportaron en la zona de estudio descargas al agua de manera frecuente de los seis metales y de cianuro, y de manera muy esporádica tricloroetileno (3 reportes), dibutilftalato (2), formaldehído (2), cloruro de metileno (2), fenol (1), piridina (1) y cloroformo (1).

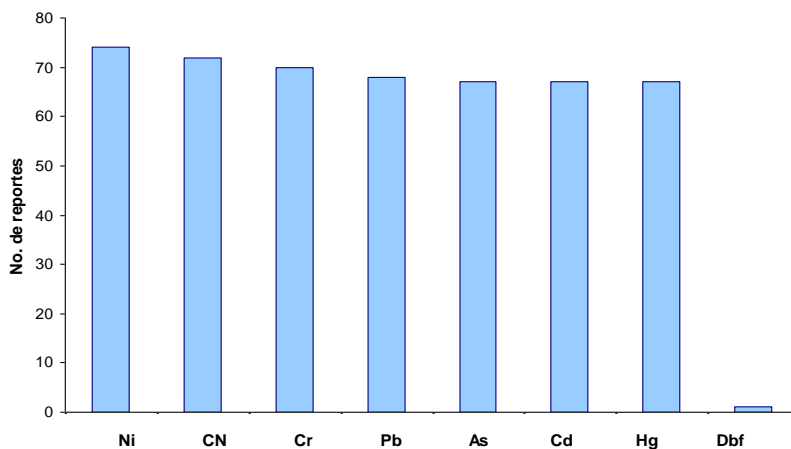


Figura 3. Número de reportes de las sustancias emitidas al agua en Jalisco en el 2005 según el RETC. Ni – compuestos de Níquel, CN – Cianuro orgánico e inorgánico, Cr – compuestos de Cromo, Pb – compuestos de Plomo, As – Arsénico, Cd – Cadmio, Hg – compuestos de Mercurio, Dbf – Dibutilftalato.

Tanto el número como la identidad de las industrias en el área de estudio que reportan descargas al agua en el RETC en el periodo de 2004 a 2009 son inconsistentes. El número de industrias que reportaron descargas aumentó en los primeros tres años y después se tornó variable (Fig. 4).

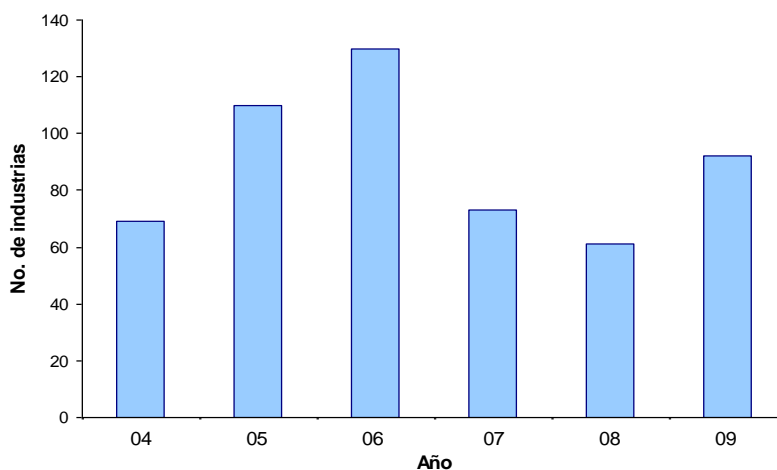


Figura 4. Número de industrias con reportes de emisión al agua en el área de estudio en el RETC por año.

El número de industrias por municipio que reportaron descargas de contaminantes al agua se puede ver en la Fig. 5. El número total de establecimientos en estos municipios que reportaron

como mínimo una sustancia en al menos uno de los años en el periodo de 2004 a 2009 fue de entre 208 y 233. Esto corresponde a cerca del 9% de las 2,510 empresas que reportaron al RETC en el país. Existe incertidumbre para 25 casos, debido a que las bases de datos consultadas no incluyen la ubicación de estos establecimientos y no se puede determinar si están dentro del área de estudio.

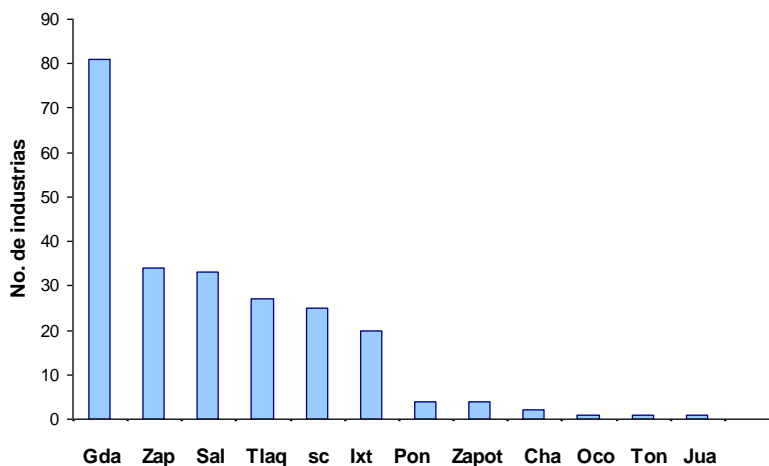


Figura 5. Número de industrias que reportaron descargas al agua en el periodo 2004-2009, por municipio, en los 11 municipios del área de estudio. sc – sin coordenadas

La base de datos de la CONAGUA consultada contiene en total 405 registros, de los que 162 corresponden al área de estudio. De estos, 83 están clasificados como descargas de tipo industrial y nueve como municipal. Hay que señalar que detectamos discrepancias considerables en el contenido y georreferenciación entre estas dos base de datos. Esta base contiene información sobre la ubicación de las descargas, los volúmenes de descarga (sin unidades), y el tipo de la misma, lo que permite identificar las emisiones de mayor importancia en términos de volumen, como muestran las figuras a continuación (Figs. 6, 7 y 9).

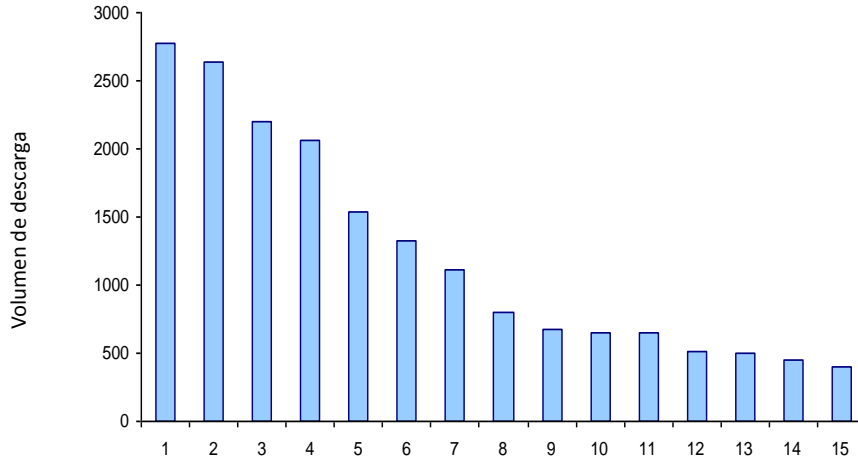


Figura 6. Las 15 descargas industriales con mayor volumen (unidades desconocidas) en el área de estudio de acuerdo con la CONAGUA (2008). 1 – Jesús Dagoberto Salcido Mejía, 2 – Industrias Ocotlán, 3 – Nestlé México, 4 – CIBA Especialidades Químicas México, 5 – IBM de México, 6 – Embotelladora La Favorita, 7 – Harinera de Maíz de Jalisco, 8 – Extractora y Embotelladora de Aguas Minerales, 9 – Empaques Modernos de Guadalajara, 10 – Kodak de México, 11 – Embotelladora Zapopan, 12 – Servicios Estrella Azul, 13 – Empaques de Cartón Titán, 14 – Corporación Inmobiliaria Las Américas, 15 – Hilasal Mexicana.

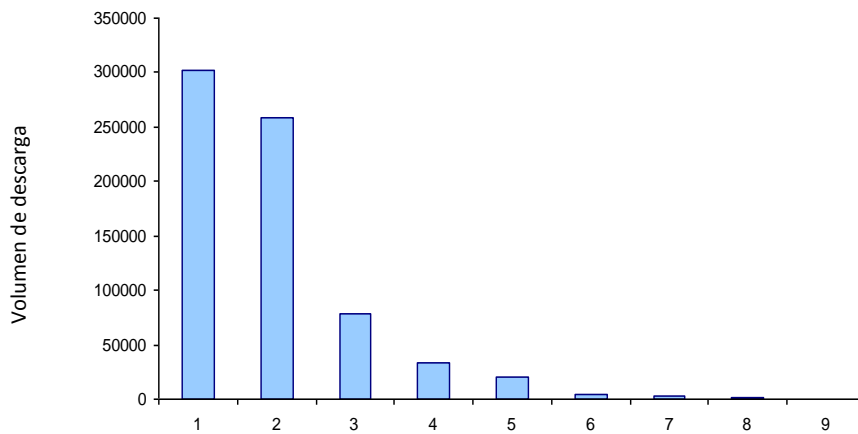


Figura 7. Descargas municipales en el área de estudio (unidades desconocidas) de acuerdo con la CONAGUA (2008). Las descargas 6 y 9 se localizan dentro de la Cuenca de El Ahogado. 1-8 – Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 9 – Proyectos Inmobiliarios de Culiacán.

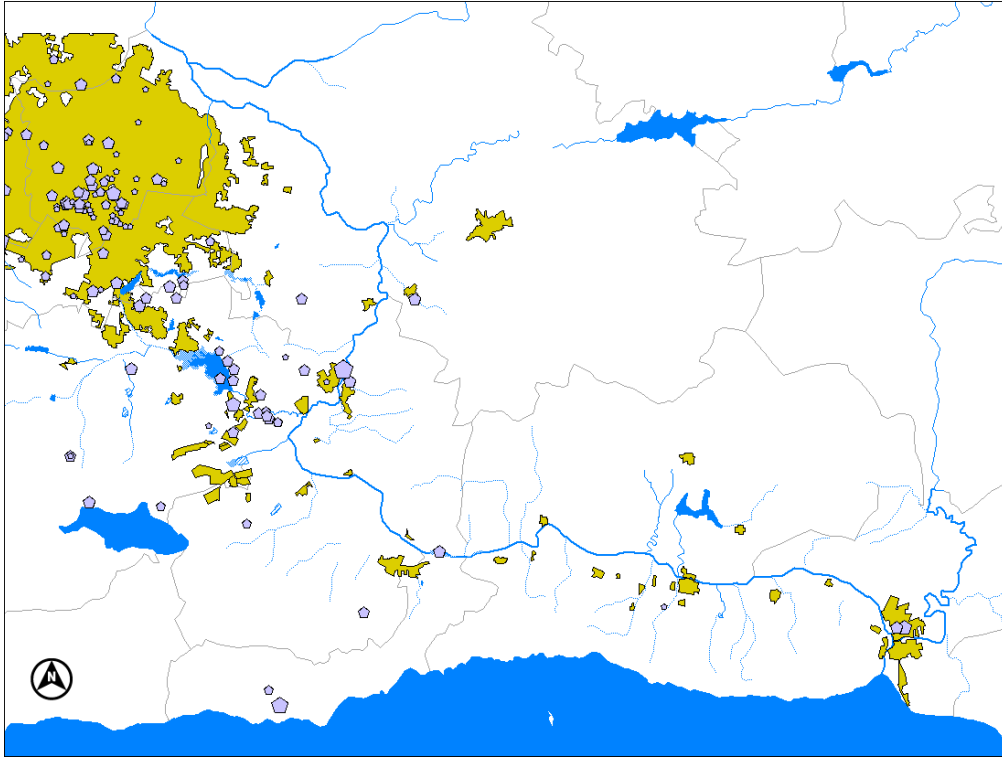


Figura 8a. Industrias con reportes de descarga de **arsénico** en el RETC. El tamaño del símbolo representa el volumen de descarga promedio en el período 2004-2009.

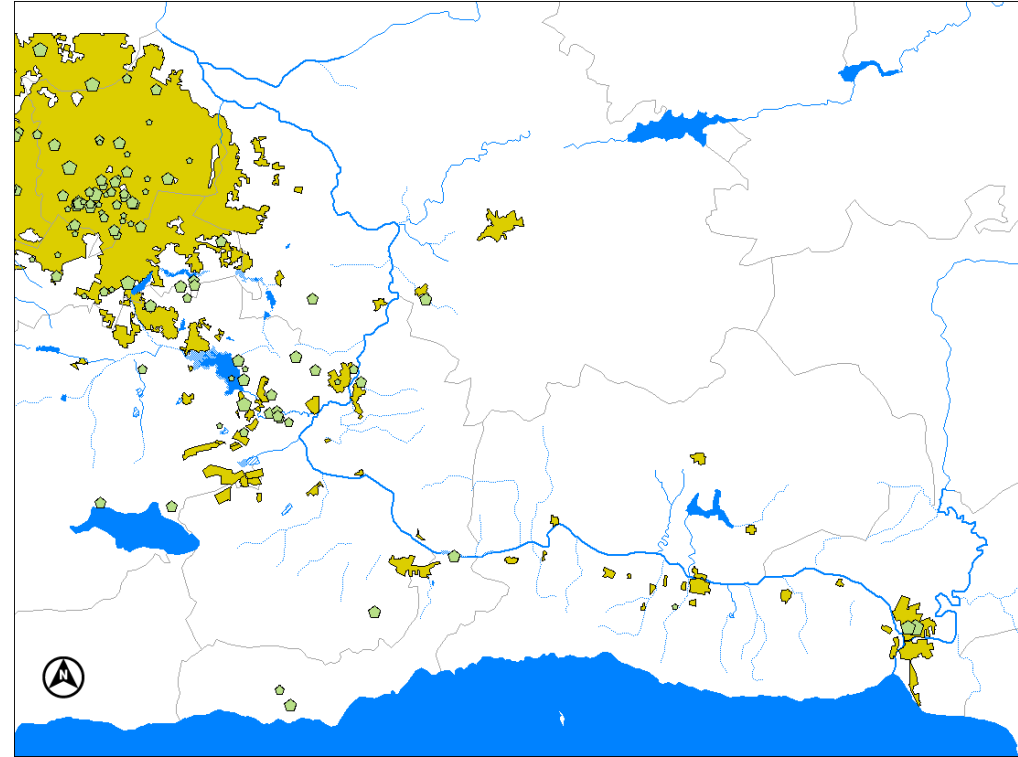


Figura 8b. Industrias con reportes de descarga de **cadmio** en el RETC. El tamaño del símbolo representa el volumen de descarga promedio en el período 2004-2009.

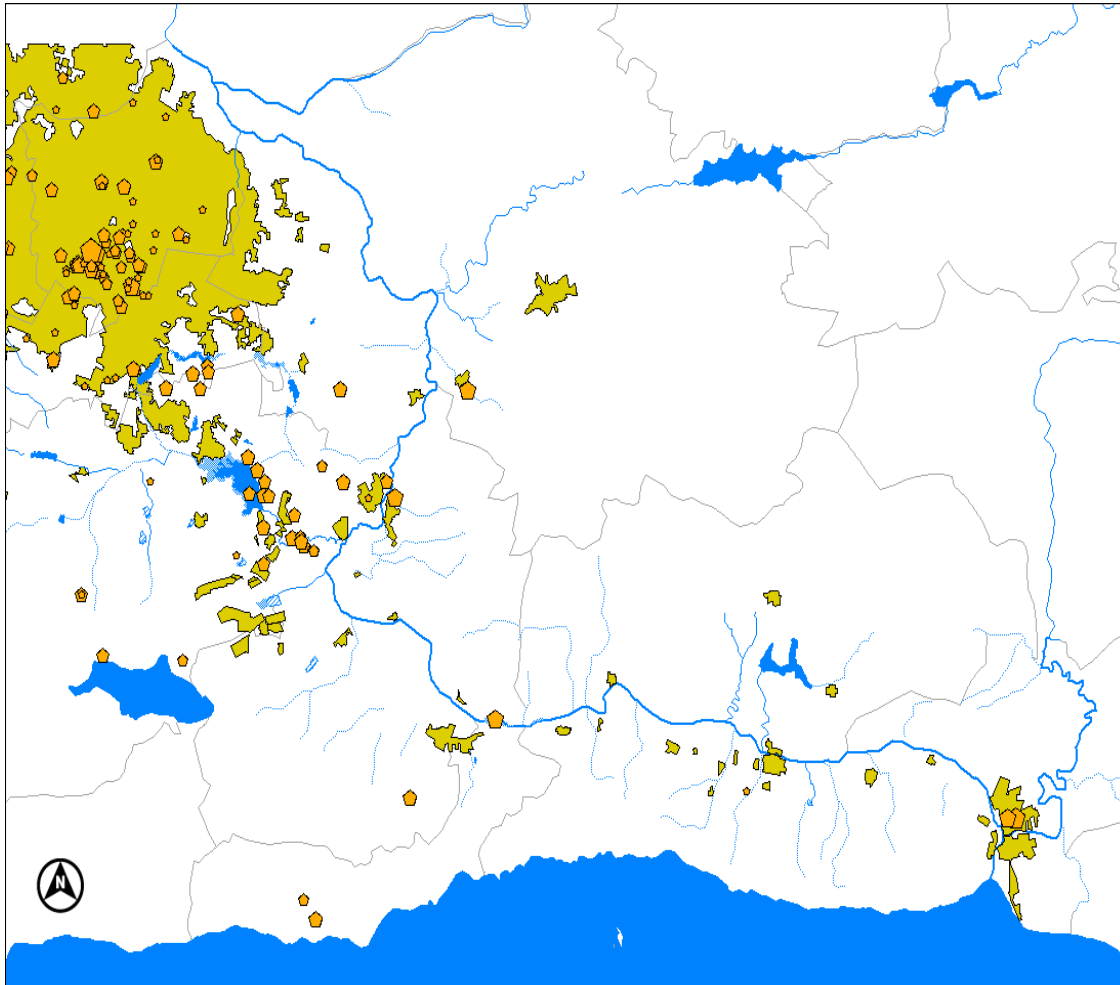


Figura 8c. Industrias con reportes de descarga de **cianuro** en el RETC. El tamaño del símbolo representa el volumen de descarga promedio en el período 2004-2009.

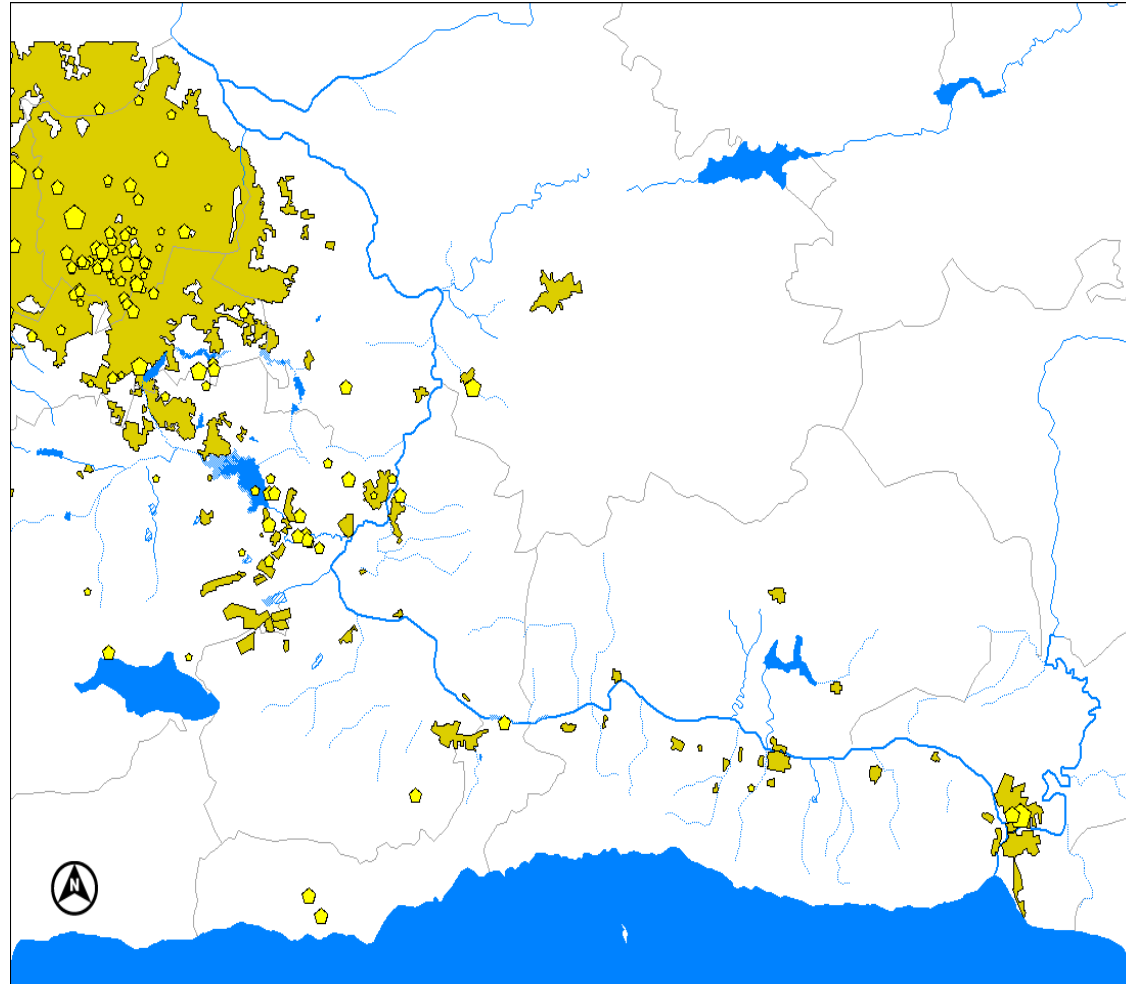


Figura 8d. Industrias con reportes de descarga de **romo** en el RETC. El tamaño del símbolo representa el volumen de descarga promedio en el período 2004-2009.

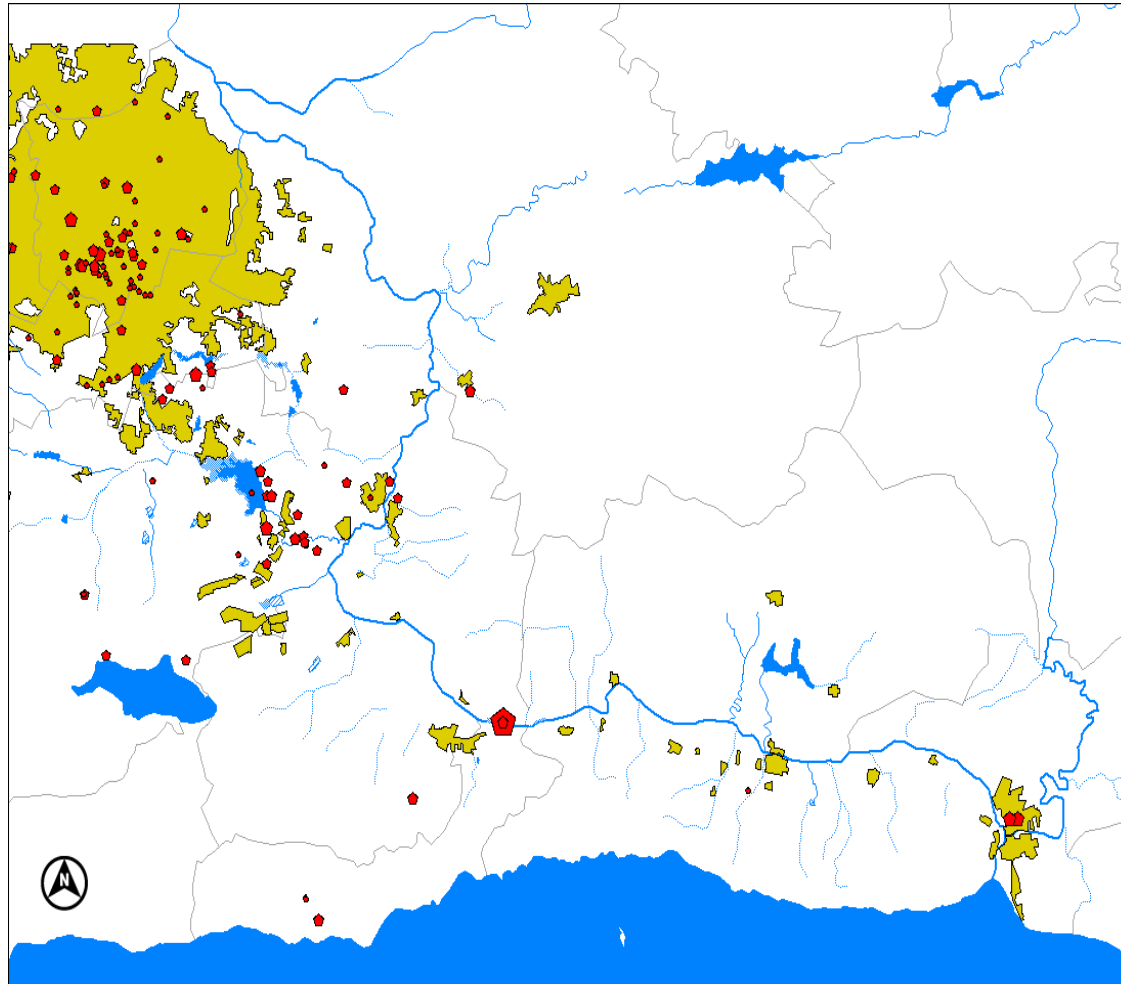


Figura 8e. Industrias con reportes de descarga de **mercurio** en el RETC. El tamaño del símbolo representa el volumen de descarga promedio en el período 2004-2009.

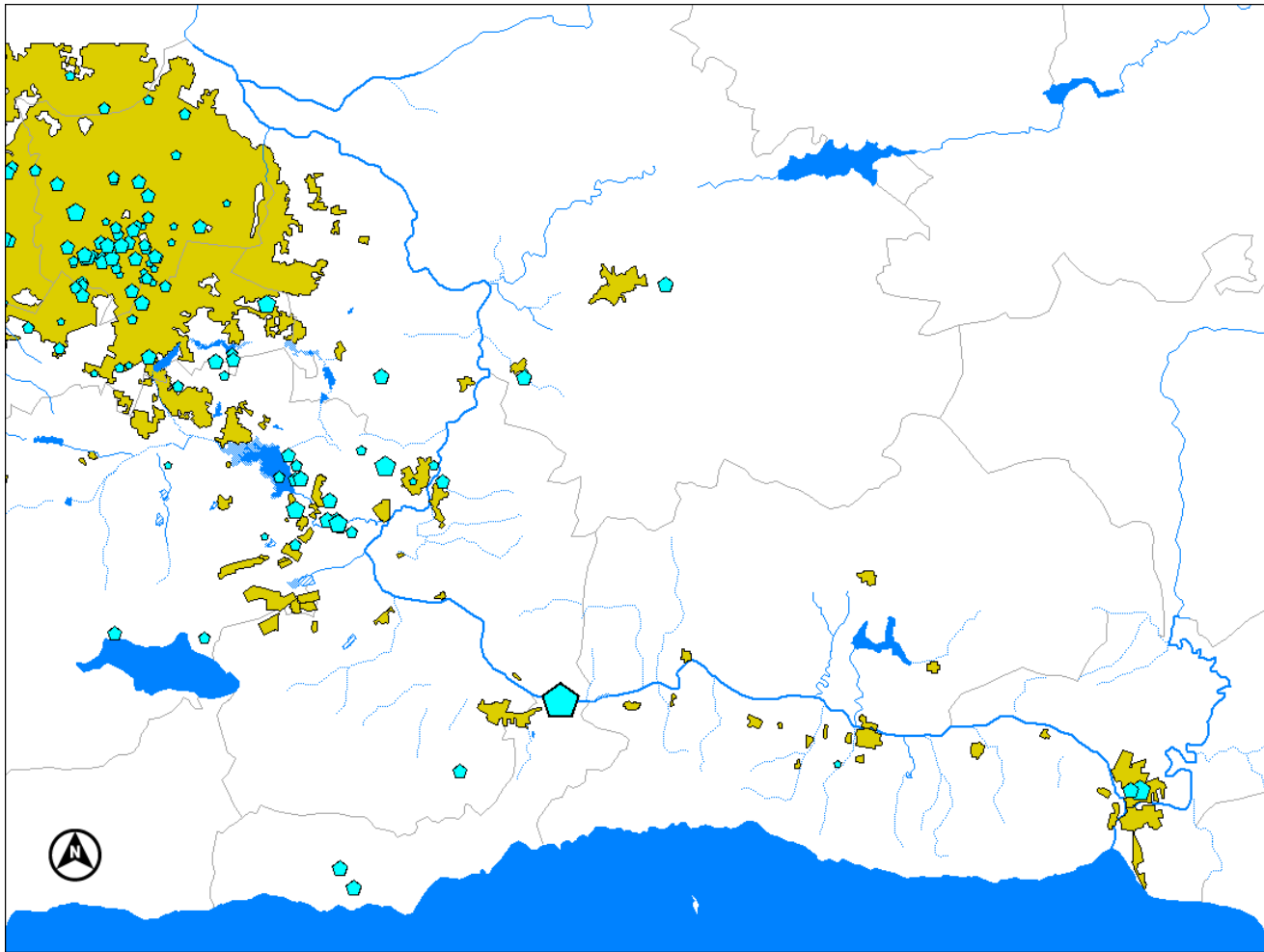


Figura 8f. Industrias con reportes de descarga de **níquel** en el RETC. El tamaño del símbolo representa el volumen de descarga promedio en el período 2004-2009.

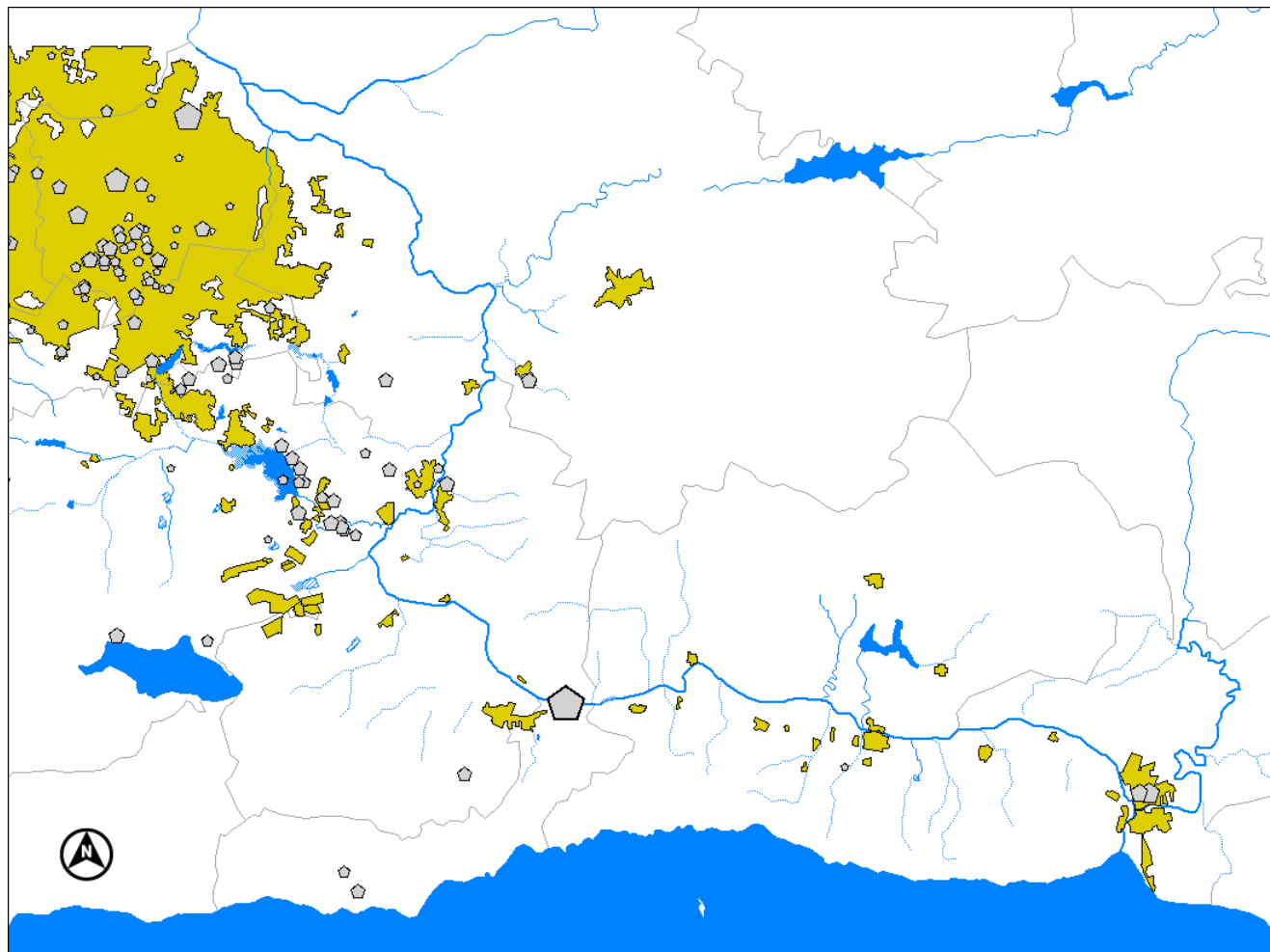


Figura 8g. Industrias con reportes de descarga de **plomo** en el RETC. El tamaño del símbolo representa el volumen de descarga promedio en el período 2004-2009.

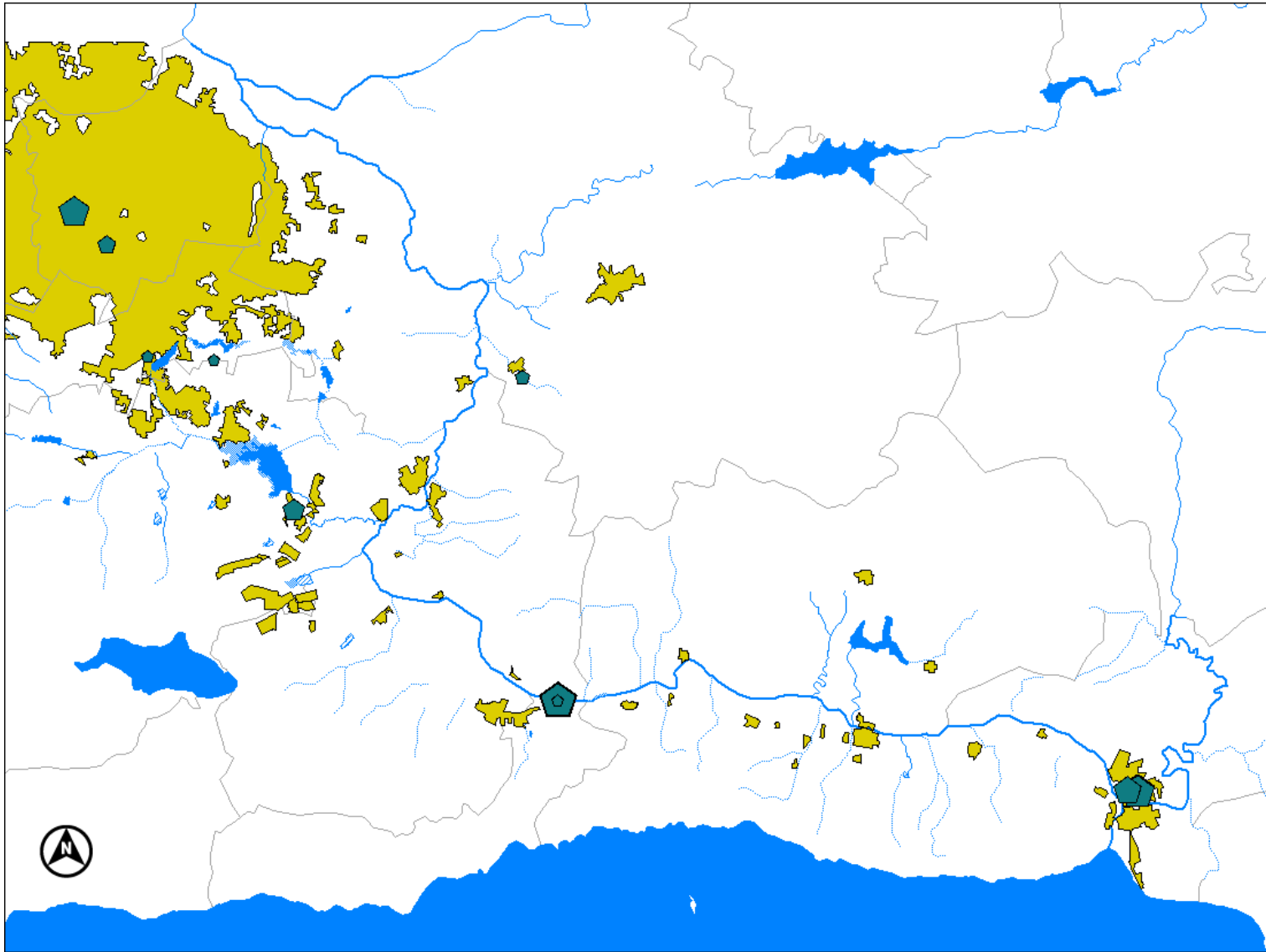


Figura 8h. Las 10 industrias con reportes más elevados de descarga de metales pesados y cianuro (CIBA Especialidades Químicas, Grupo Celanese, Cervecería Modelo de Guadalajara, Nestlé México, Hilasal Mexicana, Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma, Casa Cuervo, IBM de México, Huntsman Internacional de México y Servicios Estrella Azul de Occidente). El tamaño del símbolo representa el volumen de descarga promedio en el período 2004-2009.

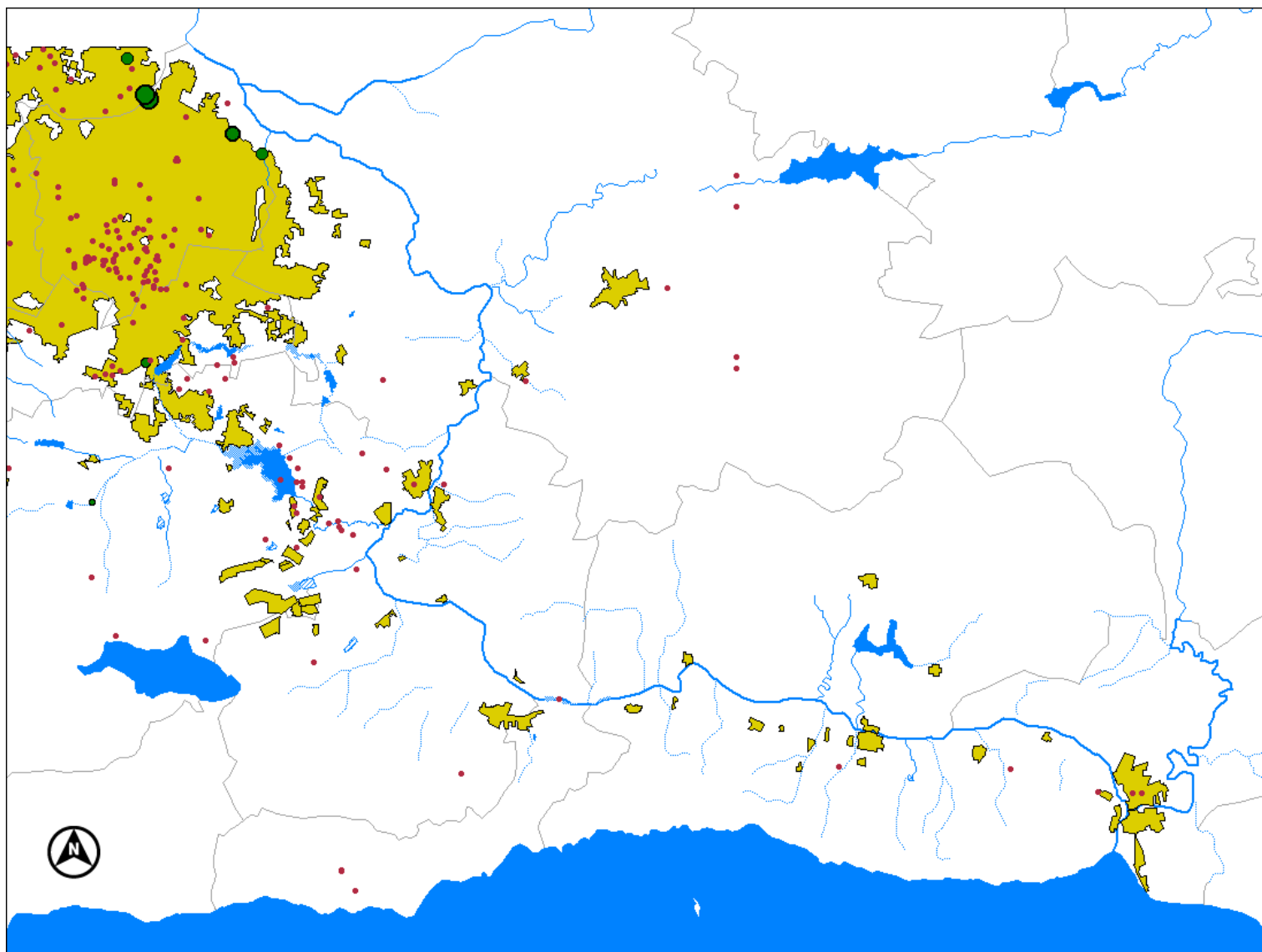


Figura 9. Industrias con georreferencia en el RETC en la zona de estudio en el período 2004-2009 (puntos rojos) y puntos de descarga municipal reportados por la CONAGUA (puntos verdes). El tamaño del símbolo representa el volumen de descarga.

## Discusión y conclusiones

El RETC es una herramienta fundamental en el monitoreo y vigilancia de las descargas industriales en México. Sin embargo, es un esfuerzo incipiente, sobre todo si lo comparamos con los inventarios equivalentes en Canadá y los EUA. El primer año de registro del RETC es el 2004, mientras que su contraparte en Canadá comenzó en 1993 y en los EUA en 1987 (CCA 2011), es decir, 11 y 17 años de anterioridad, respectivamente. Otro comparativo importante entre estos tres registros es el número de sustancias que consideran: 321 en el caso canadiense y 593 en el estadounidense (CCA 2011). Aunque esta diferencia puede ser también atribuida a las distintas cantidades de sustancias producidas por la industria mexicana, canadiense y estadounidense, el listado del RETC es insuficiente. Se requiere de un inventario exhaustivo de todas las sustancias que se producen, transfieren o emiten en el país. Tan solo en la zona de estudio se han reportado 1,090 diferentes sustancias tanto en las descargas industriales como en el Río Grande de Santiago (IMTA 2011). Desde el punto de vista técnico y de presentación, recomendamos que haya un mayor rigor en la forma en la que se presenta el RETC. El análisis que aquí se presenta se vio dificultado por algunas omisiones e imprecisiones en las bases de datos consultadas. Es de señalarse que no se reportan las unidades de las descargas, dato fundamental para analizar las mismas. El análisis también se hace difícil debido a dos tipos de inconsistencia en el registro: uno se refiere a la identidad de las industrias que reportan al registro entre años, y otro a la identidad de las sustancias que son reportadas por una misma industria entre años. Desde el punto de vista de la gestión, el carácter voluntario del reporte al Registro, lo hace ser poco comprensivo y tener las inconsistencias señaladas. La situación que enfrentamos en la preparación de este reporte es confirmada por otras fuentes. En una publicación conjunta de la Red Interamericana de Academias de Ciencias y el Foro Consultivo Científico y Tecnológico (RIAC-FCCyT 2012), cuando se trata el caso mexicano, se afirma que: “La información oficial en materia de agua e industria es confusa; no se publica en forma actualizada, y es imprecisa y poco sistemática. Como gremio, la industria tampoco cuenta con su propia información (Aboites *et al*, 2008). Por ello, se conoce poco de la situación real de este sector.” Consideramos entonces que el RETC debe ser de carácter vinculante, y regirse a través de una norma específica que abarque una gama más amplia de sustancias. Este instrumento debe adecuarse a la realidad de las descargas de contaminantes al agua en el país. El uso de la base de datos del RETC que en este trabajo hicimos a través de la elaboración de cartografía, nos ha permitido dimensionar de manera clara la situación respecto a la instalación y descarga de contaminantes de industrias en el alto Santiago, incluyendo la ciudad de Guadalajara. Es alarmante la concentración de industrias y el volumen de descargas de sustancias químicas en la zona centro de una ciudad de un millón y medio de habitantes. Además de confirmar la actividad industrial en la cuenca de El Ahogado, detectamos una fuente importante de descarga de metales pesados en la sección sureste. Cabe mencionar que durante la búsqueda de información para este trabajo no encontramos ningún documento, ni en el mismo portal del RETC que nos permitiera visualizar la información contenida en este registro como lo hemos presentado en este trabajo.

## Capítulo 6

# Análisis de la situación de salud en El Salto y Juanacatlán

### Introducción

La destrucción de la integridad ecosistémica, es decir de los elementos y funciones que constituyen un ecosistema, invariablemente impacta en el bienestar y la salud humana (Di Giulio y Benson, 2002). Una cuarta parte de las enfermedades a nivel mundial se deben a las malas condiciones ambientales debidas a la contaminación o a la pérdida de los ecosistemas (OMS 2006). Las principales causas de muerte se atribuyen a enfermedades como afecciones del sistema circulatorio, gastrointestinales, de vías respiratorias y cáncer (ver Cuadro).

Los cuerpos de agua contaminados por la industria farmacéutica, petroquímica, textil, de laminación de metales y las fundidoras contienen mezclas de sustancias tóxicas e incluso cancerígenas (Ohe et al., 2004). La contaminación, además de afectar a la biota, reduce la disponibilidad del agua para distintos usos y se asocia con el incremento en la incidencia de enfermedades en las poblaciones humanas, por exposición a sustancias, contaminación de alimentos por riego o por su capacidad como reservorio de vectores (Carabias y Landa, 2005). Tan sólo en Estados Unidos se han listado al menos 34 sustancias químicas con actividad mutagénica o cancerígena en los ríos y la misma situación ocurre en al menos 18 países (Ohe et al., 2004). Al menos 18 millones de niños menores de 5 años mueren cada año por enfermedades relacionadas con la contaminación en ríos y lagos (Corcoran, 2010). Uno de los principales problemas es la exposición crónica a sustancias químicas como el arsénico en el agua potable (Vineis y Xun, 2008). La contaminación en el Río Grande de Santiago y Arroyo El Ahogado ha persistido durante años, lo que supone la existencia de riesgos a la salud humana. Como respuesta a la problemática ambiental, el gobierno estatal decretó recientemente la creación de un Polígono de Fragilidad Ambiental (POFA) en la región. Sin embargo, las acciones previstas han dejado de lado estudios epidemiológicos que evalúen la relación causa-efecto entre la contaminación del río y la ocurrencia de patologías específicas en la zona. En este sentido, es necesario evaluar la carga de morbilidad y mortalidad atribuible a los agentes químicos y biológicos presentes en los cuerpos de agua, para lo cual se requiere contar con datos que dimensionen la magnitud del problema.

#### Principales causas de muerte a nivel mundial atribuibles a causas ambientales (OMS 2006)

- 2.6 millones de defunciones anuales por enfermedades cardiovasculares
- 1.7 millones de defunciones anuales por enfermedades diarreicas
- 1.5 millones de defunciones anuales por infecciones de las vías respiratorias inferiores
- 1.4 millones de defunciones anuales por cáncer
- 1.3 millones de defunciones anuales por neumopatía obstructiva crónica
- 470 000 defunciones anuales por accidentes de tránsito
- 400 000 defunciones anuales por traumatismos involuntarios

## **Justificación**

El deterioro del Río Grande de Santiago y sus tributarios forma parte de un fenómeno que se ha generalizado en las cuencas de México. Además de la reducción o inhabilitación de su uso para fines recreativos y productivos, las comunidades en la ribera han manifestado la existencia de signos de afectación a su salud. Algunos de los malestares y padecimientos reportados por habitantes de los municipios de El Salto y Juanacatlán han sido documentados y acreditados por organismos encargados de la protección y defensa de los derechos humanos. Sin embargo, las sentencias y recomendaciones emitidas al respecto no tienen un carácter vinculante (ver Capítulo 1).

Desde 2009, la autoridad estatal responsable de la administración y preservación del agua, la CEA Jalisco, ha hecho un monitoreo sistemático para evaluar la calidad del agua en el Río Grande de Santiago y el Arroyo el Ahogado (ver Capítulo 4). La Secretaría de Salud a través de sus dependencias ha implementado programas para la detección y prevención de diversos padecimientos; no obstante, la información con respecto a las amenazas que la contaminación de estos dos cuerpos presenta para la salud de las comunidades ribereñas continúa siendo imprecisa y escasa. La información epidemiológica se encuentra dispersa. La falta de análisis de la misma o, en su defecto, la ausencia de documentos públicos que descarten la existencia de riesgos a la salud, impela a la realización de estudios referentes al tema.

## **Objetivos particulares**

1. Llevar a cabo un análisis de la situación de salud (ASIS) en la zona de estudio, evaluando el comportamiento de las causas específicas de morbilidad y mortalidad, identificadas a partir de los antecedentes recabados.
2. Analizar la variación espacial y temporal de la morbilidad y mortalidad en la zona de estudio por dichas causas.
3. Hacer un análisis exploratorio regional entre los resultados del ASIS y los resultados del análisis de los datos recabados de calidad del agua.
4. Determinar si existen causas específicas de morbilidad y mortalidad destacadas en los municipios de El Salto y Juanacatlán cuya etiología se asocie a factores ambientales.

## **Método**

### **a) Poblaciones en la zona de estudio**

La zona de estudio está integrada por los municipios a lo largo del tramo Ocotlán-Matatlán del Río Grande de Santiago, nueve en total: Ocotlán, Poncitlán, Zapotlán del Rey, Ixtlahuacán de los Membrillos, Tlajomulco de Zúñiga, Juanacatlán, El Salto, Tonalá y Zapotlanejo. Las unidades de estudio fueron las poblaciones municipales. El municipio de Chapala fue excluido debido a que la proporción de su territorio cercana al río es considerablemente pequeña.

### **b) Tipo de estudio**

Hicimos el presente análisis bajo un enfoque descriptivo, a través del cual buscamos detallar y comparar el comportamiento histórico de algunos padecimientos en la zona de estudio, cuya selección será detallada más adelante. Incorporamos elementos de análisis de los estudios de tipo ecológico ya que éstos utilizan grupos y no individuos como la unidad de análisis. Estos diseños se pueden utilizar como primer paso en la investigación de la posible asociación entre la exposición y la morbilidad o mortalidad en una población (Palacios, 2011). Permiten investigar diferencias entre grupos y generar hipótesis que, aunque deben ponerse a prueba con otros métodos, resultan valiosas en términos del análisis de la salud pública (Borja, 2000).

### **c) Antecedentes**

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) recomienda que el análisis de la mortalidad en determinados grupos de población se haga con base en listas que destaquen los problemas de salud más comunes de dichos grupos (OPS 2003). Con base en ello y a partir de los antecedentes de los problemas de salud en la zona de estudio (ver Capítulo 3), sistematizamos la información de las patologías. Las clasificamos como crónicas o agudas y de acuerdo a su letalidad. Las enfermedades agudas son aquellas que tienen un comienzo y un fin claramente definidos, en cambio, las enfermedades crónicas son de larga duración y por lo general de progresión lenta, afectan un período largo de la vida del individuo y requieren vigilancia constante. En una tercera categoría agrupamos las sintomatologías recurrentes que no constituyen propiamente una enfermedad. Adicionalmente, de acuerdo a su letalidad, las clasificamos como moderadas cuando el padecimiento no ponía en peligro la vida de los individuos y graves cuando sí lo hacía, ya sea por la falta de tratamiento o porque son de mal pronóstico (Tabla 1).

Tabla 1. Antecedentes de problemas de salud en la zona de estudio

| Síntomas recurrentes                | Enfermedades agudas             |                                 | Enfermedades crónicas                                     | Otras complicaciones      |
|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|---------------------------|
|                                     | Moderada                        | Grave                           | Moderada a grave  |                           |
| Cefalea                             | Conjuntivitis                   | Tifoidea                        | Diversos tipos de cáncer (mama y leucemia principalmente) | Abortos espontáneos       |
| Rinorrea                            | Infecciones respiratorias       | Enfermedades gastrointestinales | Problemas cardiovasculares                                | Malformaciones congénitas |
| Irritabilidad                       | Enfermedades gastrointestinales |                                 | Hepatitis   |                           |
| Fatiga                              |                                 |                                 | Infecciones respiratorias                                 |                           |
| Dermatitis y otros daños en la piel |                                 |                                 | Asma  |                           |
|                                     |                                 |                                 | Disfunción renal  |                           |

Para evitar un sesgo en la selección y reducir la ambigüedad en la terminología de los padecimientos, los comparamos con la Décima Revisión de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10) (SSS 2012). La CIE-10 es un sistema de códigos asignados a enfermedades (2,036 en total) que a su vez son agrupadas en categorías (261 grupos) de acuerdo con criterios establecidos por la OMS (SSS 2012).

#### d) Fuentes y procesamiento de la información

Las fuentes de consulta de las estadísticas vitales fueron las bases de datos oficiales disponibles en los sistemas de información en línea de las dependencias federales y estatales (Fig. 1). La base de datos que consultamos mayormente para el presente análisis fue la disponible en el Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS), ya que presenta datos anuales con nivel de desagregación desde entidad federativa hasta unidad médica, para el período de 1998 a 2010. Utilizamos los datos agrupados a nivel de municipio. La fuente de datos demográficos que esta base utiliza proviene de las proyecciones demográficas elaboradas por CONAPO-COLMEX. Hasta donde nos fue posible indagar, a nivel municipal sólo se encuentran disponibles los registros de mortalidad, no así la incidencia o prevalencia de los padecimientos, es decir, la morbilidad. Los casos de muerte se encuentran registrados por causa específica (MCE) y según la residencia habitual del paciente, lo que nos permitió excluir los casos de muerte en los que los pacientes provenían de otras localidades, y por ende habían estado expuestos a otros factores.

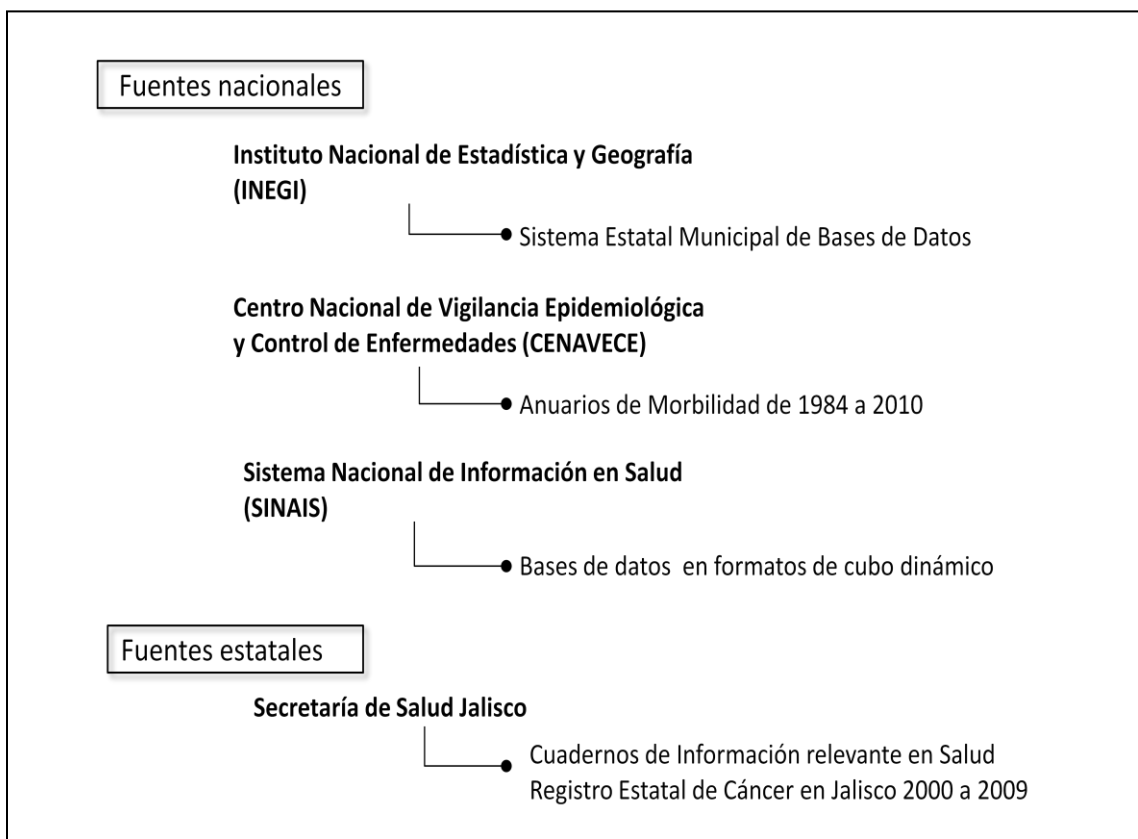


Figura 1. Fuentes de información consultadas para las bases de datos de salud.

El esquema metodológico seguido para realizar el Análisis de la Situación de Salud (ASIS) en la zona de estudio se describe detalladamente a continuación y se representa de manera sintética en la Figura 2.

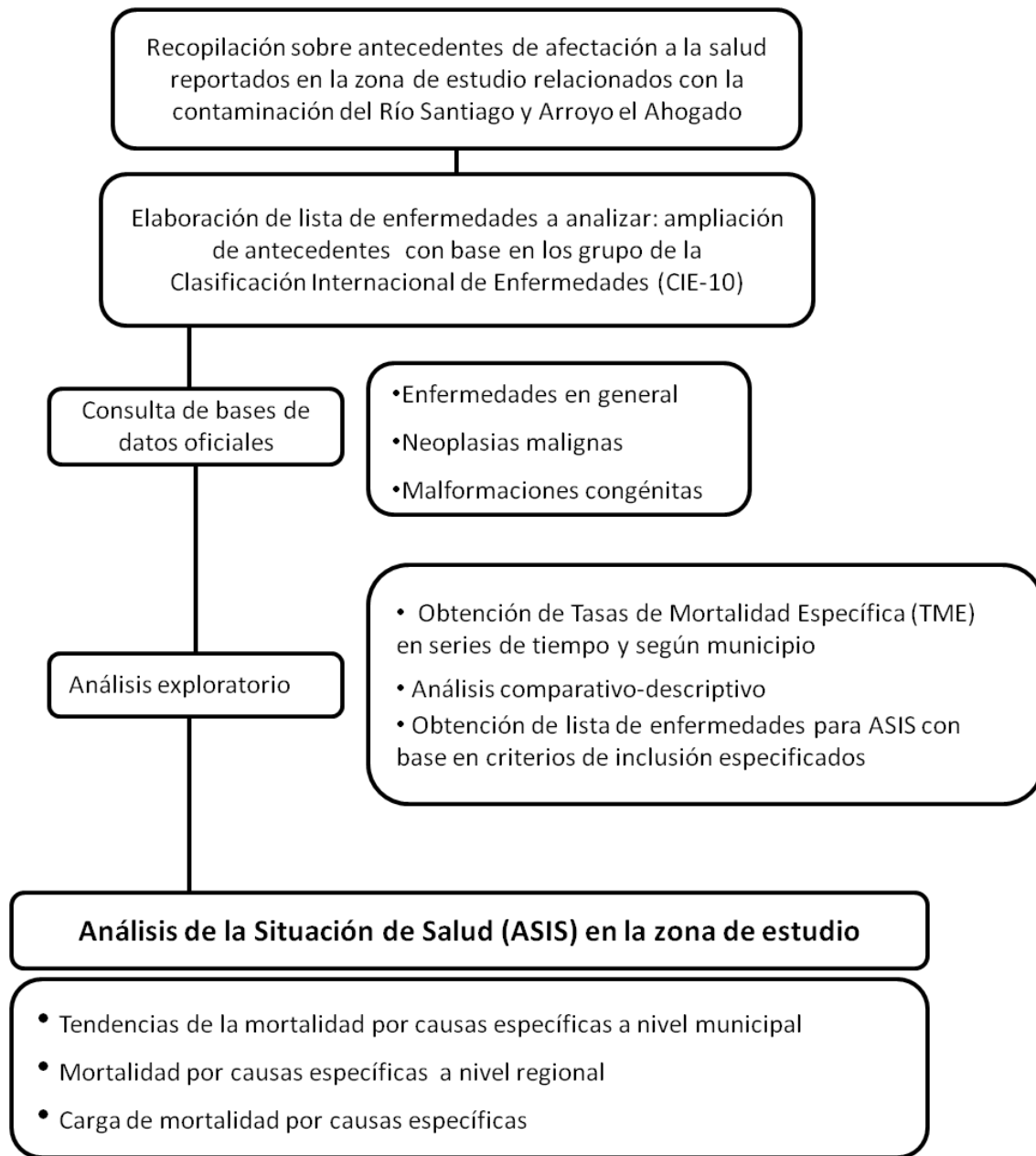


Figura 2. Esquema metodológico seguido para realizar el Análisis de la Situación de Salud (ASIS).

## e) Análisis exploratorio

El número absoluto de eventos (muertes o enfermedades) en una población bajo estudio depende en gran medida del tamaño de la misma, por lo que las comparaciones de la incidencia entre poblaciones de distintos tamaños no se pueden hacer utilizando cifras de este tipo. De hacerse así, la diferencia en el número de casos podría deberse simplemente al tamaño mayor de alguna de las poblaciones que se comparan, y no a la presencia de un factor de riesgo extraordinario; aunque la frecuencia absoluta sea distinta, la magnitud del problema podría ser la misma (Moreno-Altamirano *et al.*, 2000). En estos casos se deben usar tasas. Las tasas expresan la dinámica de un suceso en una población a lo largo del tiempo. Se definen como la magnitud del cambio de una variable (número de casos de enfermedad o muerte en este caso) por unidad de tiempo, en relación con el tamaño de la población bajo estudio (Moreno-Altamirano *et al.*, 2000). Para ajustar las distorsiones que generan los cambios en los tamaños poblacionales en el tiempo y contar con datos comparables, calculamos medidas básicas de frecuencia en epidemiología, a partir de los datos brutos, las cuales se describen a continuación:

### Tasa de mortalidad en la población general por causas específicas

---

| Tasa de Mortalidad Específica (TME) |   |
|-------------------------------------|---|
| Descripción                         | Proporción de personas que mueren en una población por una causa específica en relación con la población en riesgo, durante un período definido |
| Cálculo                             | $TME = (MCE/PT) \times 100,000$ habitantes  |
| Significado                         | MCE = Número de muertes por una causa específica en un año<br>PT = Población total en el año considerado  |

---

### Tasas de mortalidad por causas específicas para subgrupos de población

---

| Tasa de Mortalidad Específica para malformaciones congénitas (TME <sub>mc</sub> ) |   |
|---|---|
| Descripción   | Proporción de niños (menores de 15 años) que mueren por una causa específica en relación con la población de la misma edad, durante un período definido   |
| Cálculo   | $TME_{mc} = (MCE_{15}/Pob_{<15}) \times 1,000$ habitantes <15 años  |
| Significado   | MCE <sub>15</sub> = Número de muertes por malformaciones congénitas en menores de 15 años en un año<br>Pob<15 = Población del grupo de edad afectado (menores de 15 años) en el año considerado |

---

| Tasa de Mortalidad Específica por edad (TMEe) |  |
|---|--|
| Descripción                                   | Proporción de muertes de un grupo de edad debido a una causa específica en relación con la población de la misma edad, durante un período definido |
| Cálculo                                       | $TME_e = (MCE_e / Pob_e) \times 1,000$ habitantes  |
| Significado                                   | MCE <sub>e</sub> = Número de muertes por causa específica en un año<br>Pob <sub>e</sub> = Población total en el año considerado                    |

| Tasa de Mortalidad Específica por sexo (TMEs) |   |
|---|---|
| Descripción                                   | Proporción de muertes en la población de hombres o mujeres debido a una causa específica en relación con la población del mismo sexo, durante un período definido |
| Cálculo                                       | $TME_s = (MCE_s / Pob_s) \times 100,000$ habitantes   |
| Significado                                   | MCE = Número de muertes por causa específica en un año<br>Pob <sub>s</sub> = Población total en el año considerado  |

Para hacer los ajustes de las tasas, obtuvimos los datos de población por municipio, según el año, edad y sexo, de las proyecciones censales de CONAPO-COLMEX, ya que son las utilizadas en el SINAIS y contienen datos anuales de crecimiento demográfico. Comparamos el comportamiento de las TME de cada enfermedad en el período de estudio entre municipios y respecto de la tasa estatal. Definimos como criterios de exclusión para análisis posteriores a enfermedades cuyas TME en los municipios de El Salto y Juanacatlán fueran iguales a 0 ó que no superaran la TME estatal en al menos dos años.

### Consideraciones metodológicas

Resulta importante señalar que en el caso de poblaciones pequeñas (menores a 100,000 habitantes), como son la mayoría de las poblaciones municipales en la zona de estudio, el número de defunciones generalmente es bajo. Esto conduce a valores inestables en las TME que dificultan la interpretación de los datos (Schneider *et al.*, 2002). Los municipios en la zona de estudio tienen poblaciones de tamaño dispar, que durante el período analizado se han incrementado de forma muy desigual, por lo que los valores atípicos de la TME deben ser interpretados con mesura (Aparicio-Llanos y Morera-Salas, 2007).

Para estimar el riesgo relativo de enfermedad o muerte atribuible a un factor determinado, la morbilidad o mortandad de una población expuesta suele compararse con la de una población de referencia, que debe ser lo más parecida posible al grupo expuesto en todos los aspectos relevantes excepto en la exposición (SEMARNAT 2005). En el presente análisis, comparamos las diferencias relativas entre municipios y con respecto al Estado de Jalisco en su totalidad, ya que con los datos disponibles no es posible definir las condiciones de exposición de las poblaciones de la zona de estudio y certificar adecuadamente una población de referencia.

## f) Análisis comparativo por municipio y por región

### Tendencia de las TME

Para reducir el efecto del cambio en el tamaño poblacional municipal en el tiempo en las TME, de acuerdo a lo sugerido por López y Ortega (2008), estimamos TME para períodos (1998-2002, 2003-2006, 2007-2010) en vez de TME anuales (ver Cuadro). Esta operación permite además identificar más claramente la tendencia de las TME en el tiempo, porque se disminuye la probabilidad de obtener TME iguales a cero. La precisión de la estimación  $TME_{i-f}$  depende inversamente del tamaño del cambio poblacional entre el año inicial (i) y el año final (f); por lo que es inadecuado comparar tasas entre poblaciones con crecimiento dispar, como ocurre en este caso. Este problema es referido en la literatura como la inestabilidad en la varianza.

---

#### Estimación de Tasa de Mortalidad Específica en el Período i-f ( $TME_{i-f}$ )

---

|             |   |
|-------------|---|
| Descripción | Proporción de personas que mueren en una población por una causa específica en relación con la población en riesgo (población general), durante el período considerado (trienios)   |
| Cálculo     | $TME_{i-f} = MCE_{i-f} / [(P_i + P_f)/2] \times n$  |
| Significado | MCE = Número de muertes por una causa específica en el período i-f<br>$P_i$ = Población en riesgo en el año inicial del período considerado<br>$P_f$ = Población en riesgo en el año final del período considerado<br>n = número de años considerados en el período i-f |

---

## Regionalización

Otra aproximación para reducir el efecto de la inestabilidad en las tasas asociada a poblaciones pequeñas consiste en incrementar la población de riesgo considerada, aumentando la escala espacial de las unidades de observación, es decir, agregando unidades espaciales vecinas. Las técnicas de regionalización ganan en precisión al coste de cambiar la unidad espacial de observación (López y Ortega, 2008).

Agrupamos los datos de salud de las poblaciones municipales y en este caso consideramos el periodo total (TME<sub>98-10</sub>). Para agrupar los municipios, nos basamos en distintos criterios. En un primer caso, consideramos como criterios de agrupamiento valores similares del Índice de Desarrollo Humano (IDH) y distancias iguales o menores a 20 km entre las cabeceras municipales de un municipio de referencia y sus vecinos (Tabla 2). El municipio de Tlajomulco de Zúñiga (región TZ) no fue agrupado en este caso dado que su cabecera municipal se encuentra a más de 20 km de cualquier otra; pero dado que su población es superior a los 100,000 habitantes, la inestabilidad en sus tasas no sería atribuible a su tamaño poblacional.

Tabla 2. Caso 1. Municipios agregados según IDH y distancia entre cabeceras municipales

| Clave de región | IDH <sup>1</sup> | Municipios  | Distancia entre cabeceras municipales (km) |
|-----------------|------------------|---|--|
| P-O-ZR          | 0.79             | (1) Poncitlán*<br>(2) Ocotlán<br>(3) Zapotlán del Rey                 | (1)-(2): 17.73<br>(1)-(3): 10.0            |
| J-IM-S          | 0.86             | (4) Juanacatlán*<br>(5) El Salto<br>(6) Ixtlahuacán de los Membrillos | (4)-(5): 2.1<br>(4)-(6): 19                |
| Z-T             | 0.86             | (7) Zapotlanejo<br>(8) Tonalá   | (7)-(8): 20.2                              |
| TZ              | 0.86             | Tlajomulco de Zúñiga  |  |

<sup>1</sup>Índice de Desarrollo Humano por región administrativa en 2005 (PNUD 2009). \* Municipio de referencia.

En un segundo caso, agregamos municipios de acuerdo a la proporción de población que vive cerca del Río Grande de Santiago o arroyo y presa El Ahogado. Para definir la distancia particular a estos cuerpos de agua, revisamos la literatura que aborda este problema (Tabla 6). El criterio de proporción de la población cercana a los cuerpos de agua contaminados parte de la hipótesis de que las comunidades ribereñas distribuidas en las márgenes pueden sufrir una mayor exposición a los agentes químicos y biológicos nocivos presentes en los ríos. Si la cercanía corresponde a un riesgo de exposición mayor, esta diferencia se traducirá también en una diferencia en la proporción de población expuesta.

## Consideraciones metodológicas

Los análisis de datos agregados tienen como principal limitación asumir que los resultados encontrados en las poblaciones se reproducen por igual en los individuos (Palacios, 2011). La resolución geográfica con la que se hace el análisis también puede tener un impacto en los resultados, generando el *problema de unidad de área modificable*, en el que los resultados pueden ser sensibles a los cambios en la escala (Del Rio, 2010). Los distintos agrupamientos que se puedan hacer conducirán inevitablemente a distintos resultados, lo que puede ser un problema cuando las áreas son agregadas bajo criterios arbitrarios. En nuestro caso, las unidades de análisis fueron agregadas según criterios geodemográficos y socioeconómicos.

### g) Mortalidad proporcional por causas específicas en el período de estudio

Calculamos la contribución proporcional de las causas de muerte, agregadas de acuerdo a los grupos de enfermedades de la CIE-10, a las defunciones totales ocurridas en el período de estudio (1998-2010), de acuerdo con la siguiente fórmula:

| Mortalidad proporcional por causa específica (MPCE) |   |
|---|---|
| Descripción   | Porcentaje de muertes en la población general debido a una o varias causas específicas (por grupo) en relación al total de muertes ocurridas, durante un período definido |
| Cálculo   | $MPCE = [(MCE_1 + MCE_2 \dots MCE_n) * 100] / DT_t$   |
| Significado   | MCE = Suma de los casos de muerte por causa específica durante un período<br>DT <sub>t</sub> = Defunciones totales durante el período considerado                         |

## Resultados

### Defunciones en la zona de estudio, 1995-2010

Aunque la descripción de la salud pública ha evolucionado con el tiempo para incluir dimensiones adicionales, las defunciones permanecen entre los eventos de análisis más importantes (CONAPO 2010). La muerte es un fenómeno que depende de múltiples factores, muchos de los cuales van más allá del ámbito sanitario y de los determinantes biológicos, y que responden a condiciones y estilos de vida. La mortalidad está relacionada de forma negativa con la esperanza de vida, aunque también influye en ella la estructura poblacional, puesto que el riesgo de morir se modifica con la edad. La tasa bruta de mortalidad es un indicador poblacional que se define como el número de defunciones totales ocurridas en un período en relación con la población total en ese período. En

México se ha presentado un descenso en la mortalidad de 7 defunciones por cada 1,000 habitantes en 1980 a 5 en 2010 (CONAPO 2010). En los municipios de la zona de estudio, durante el período de 1995 a 2010 la tasa de mortalidad fluctuó entre 3 defunciones por 1,000 habitantes en Tonalá y 6.7 en Ixtlahuacán de los Membrillos. A partir del 2000 hubo un incremento en los municipios de Juanacatlán, El Salto, Ocotlán y Poncitlán. Otros municipios como Ixtlahuacán de los Membrillos, Zapotlán del Rey y Zapotlanejo tuvieron la tasa más elevada con respecto a su registro histórico en el 2010. La tasa de mortalidad disminuyó únicamente en Tlajomulco de Zúñiga (Figura 3).

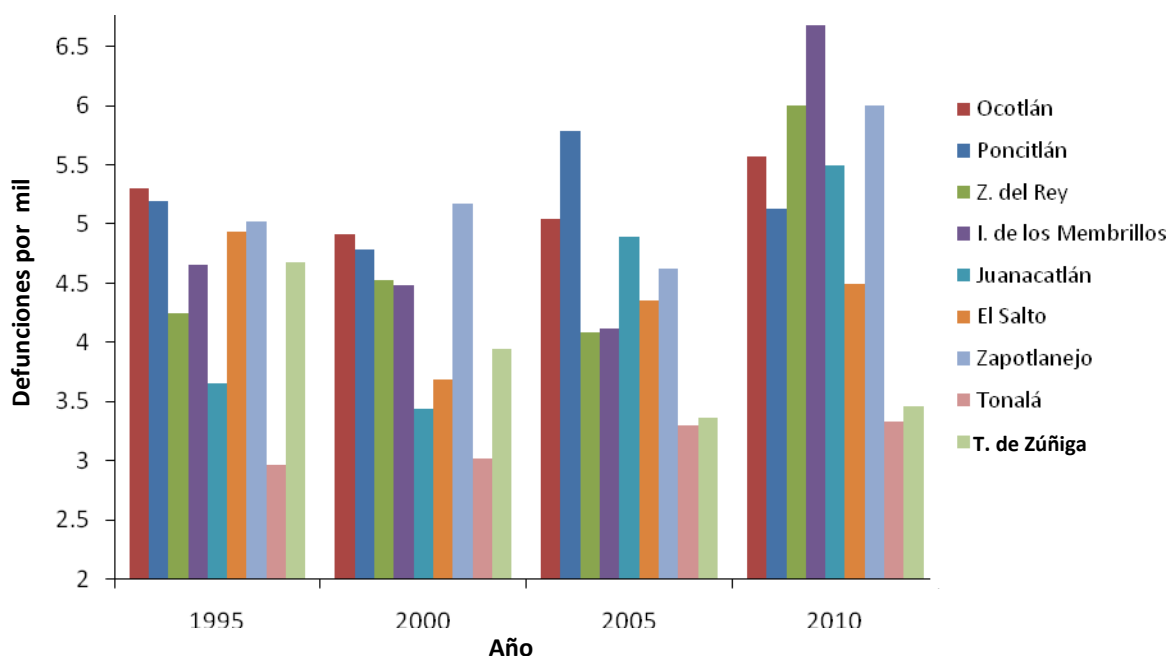


Figura 3. Tasa bruta de mortalidad general por 1,000 habitantes en los municipios de la zona de estudio, 1995-2010.

La mortalidad infantil es uno de los indicadores sociodemográficos que mejor reflejan las condiciones de vida y el desarrollo socioeconómico de una población (CONAPO 2010). A nivel nacional, entre 1980 y 2010 este indicador se redujo en 73%, al pasar de 52.6 a 14.2 defunciones por cada mil nacimientos (CONAPO 2010). En la zona de estudio, la tasa de mortalidad infantil (TMI) por quinquenio alcanzó valores de entre 8.9 defunciones por cada 1,000 nacidos vivos en Tonalá y 30 en Zapotlanejo. En la última década, la TMI ha aumentado en todos los municipios bajo estudio, salvo en Tlajomulco de Zúñiga (Figura 4).

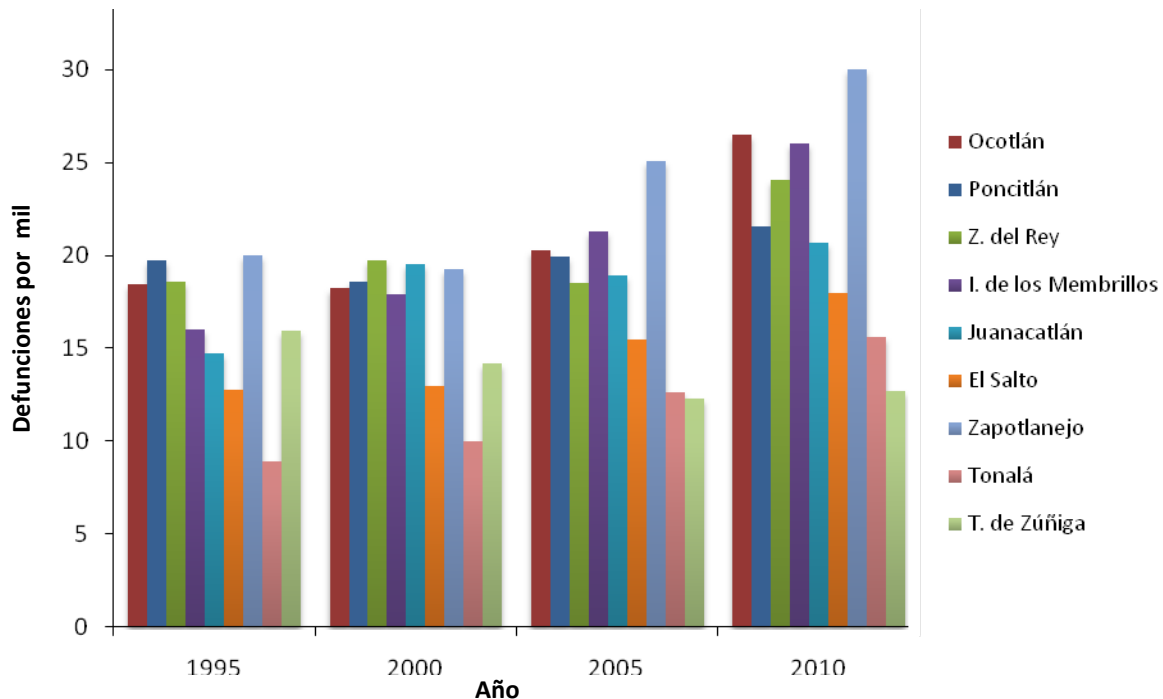


Figura 4. Tasa de mortalidad infantil por 1,000 nacimientos en los municipios de la zona de estudio, 1995-2010.

La mortalidad presenta comportamientos específicos por sexo. En general, la mortalidad femenina en cualquier grupo de edad es menor que la masculina. Factores externos, principalmente relacionados con la mortalidad materna durante la etapa reproductiva, inducen la sobremortalidad femenina (Gómez, 1993). En México la tasa de mortalidad por sexo se mantuvo estable al menos entre 1995 y 2002, con valores más altos para los hombres (OPS/AIS 2005). En general, también en la zona de estudio la tasa de mortalidad masculina fue superior que la femenina; en una razón que prácticamente no fue superior a 2:1 (hombres:mujeres), salvo en el año 2000 en Zapotlán del Rey y en 2010 en Ixtlahuacán de los Membrillos (Figs. 5 a 13). En el municipio de Juanacatlán hubo una inversión del patrón en el período de 1996 a 1998. En promedio, Zapotlanejo e Ixtlahuacán de los Membrillos tuvieron las diferencias más grandes entre las tasas de mortalidad por sexo, mientras que Ocotlán y Juanacatlán tuvieron las más chicas. Las tasas de mortalidad por sexo en la zona de estudio fluctuaron entre 3.18 y 9.43 por 1,000 individuos en el caso de los hombres y entre 2.29 y 7.46 por 1,000 en el caso de las mujeres. Tonalá presentó la tasa de mortalidad más baja a lo largo del período de estudio, tanto para hombres como para mujeres. En el Salto y Tlajomulco de Zúñiga la tasa tuvo una tendencia a disminuir en el período.

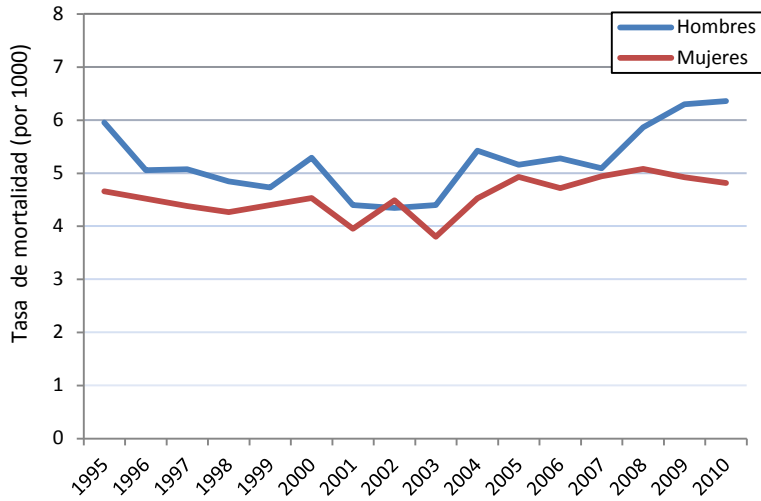


Figura 5. Mortalidad según sexo y año en el municipio de Ocotlán, 1995-2010.

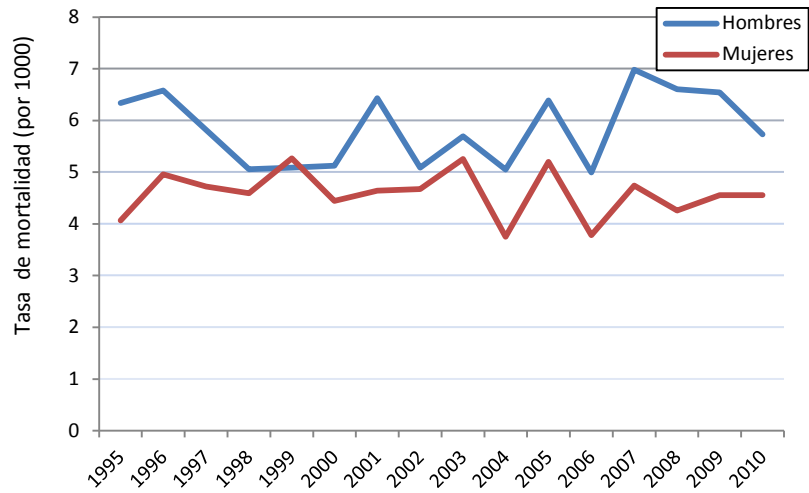


Figura 6. Mortalidad según sexo y año en el municipio de Poncitlán, 1995-2010.

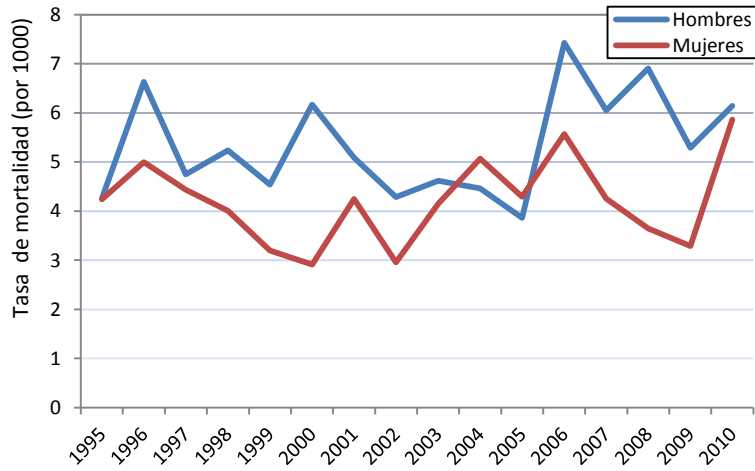


Figura 7. Mortalidad según sexo y año en el municipio de Zapotlán del Rey, 1995-2010.

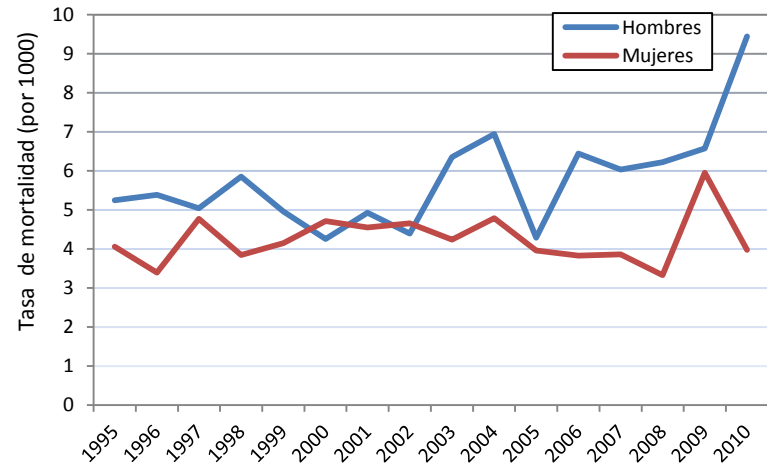


Figura 8. Mortalidad según sexo y año en el municipio de Ixtlahuacán de los Membrillos, 1995-2010.

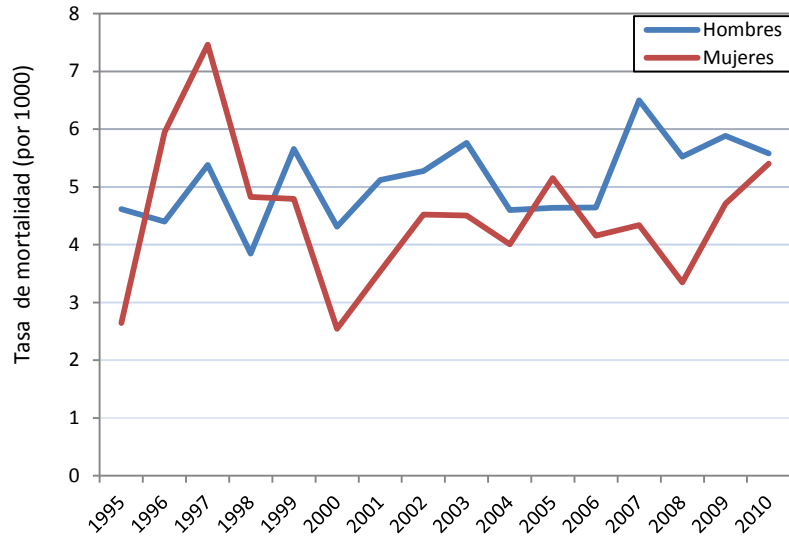


Figura 9. Mortalidad según sexo y año en el municipio de Juanacatlán, 1995-2010.

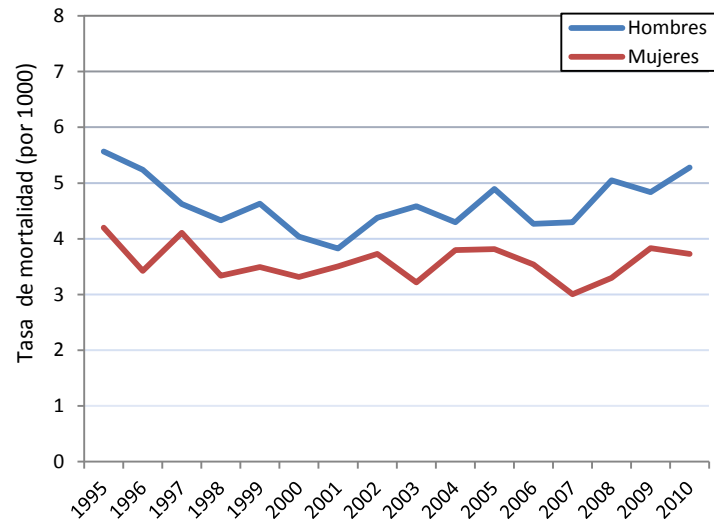


Figura 10. Mortalidad según sexo y año en el municipio de El Salto, 1995-2010.

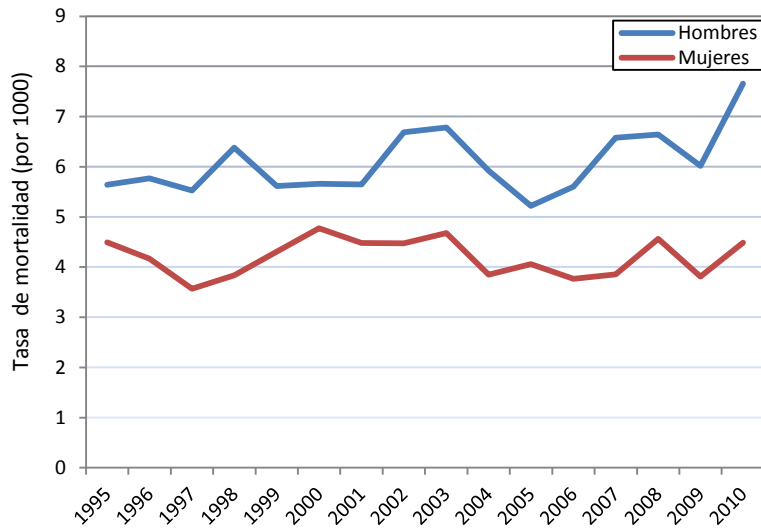


Figura 11. Mortalidad según sexo y año en el municipio de Zapotlanejo, 1995-2010.

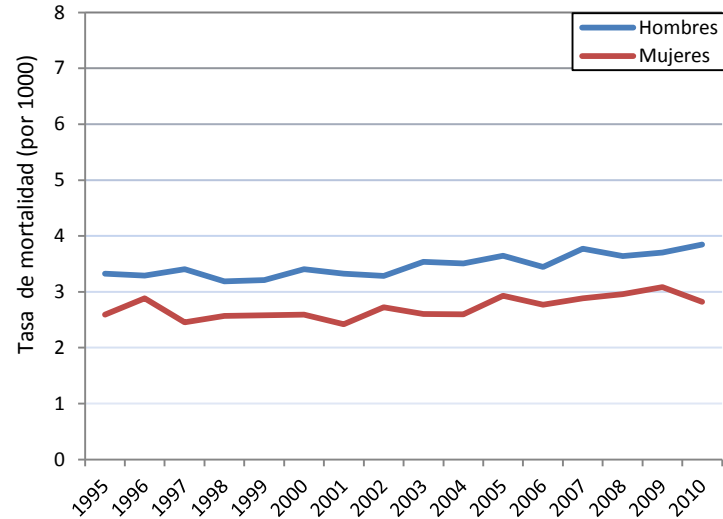


Figura 12. Mortalidad según sexo y año en el municipio de Tonalá, 1995-2010.

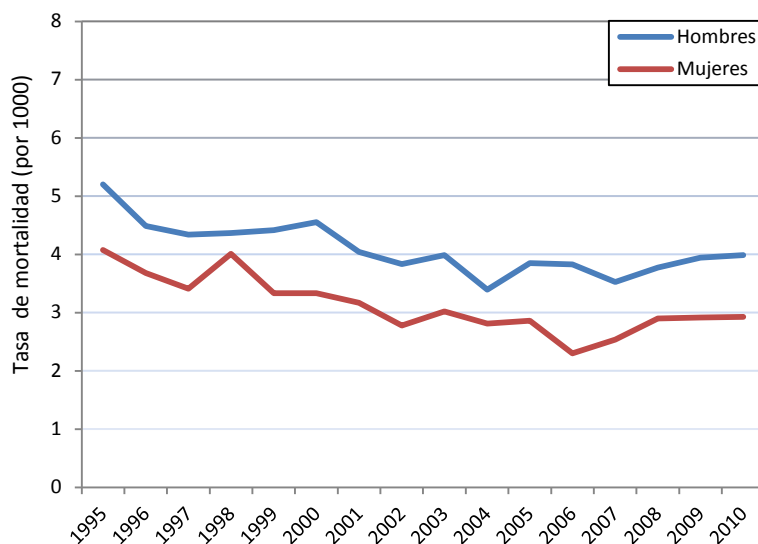


Figura 13. Mortalidad según sexo y año en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, 1995-2010.

Las 20 principales causas de muerte en la población general por municipio se muestran en las Figuras 14 a 22. En esta sección sólo se compara la mortalidad relativa en cada municipio y no la frecuencia entre municipios. Se muestra el total de defunciones por causa en el período de 1995 a 2010. Las causas están referidas a la clasificación de la lista GBD<sup>6</sup> que incluye 165 afectaciones a la salud, las cuales se dividen en tres grupos: (a) enfermedades transmisibles, maternas, perinatales y nutricionales (b) enfermedades no transmisibles y (c) lesiones o causas externas (DGIS 2012).

Para todos los municipios, la proporción de muertes (MPCE) representada en las gráficas representa entre el 63% y el 70% de las muertes totales ocurridas en el período señalado. Las dos principales causas de muerte correspondieron a la diabetes mellitus y enfermedades isquémicas del corazón, pertenecientes al grupo b. Las siguientes 3 principales causas de muerte por enfermedades del grupo b son la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, la enfermedad cerebrovascular y la cirrosis y otras enfermedades del hígado, en orden variado, salvo en Zapotlán del Rey. En este municipio, en vez de la cirrosis y otras enfermedades del hígado se encuentran las enfermedades hipertensivas.

<sup>6</sup> Global Burden Disease List (Lista de la Carga Global de Enfermedades)

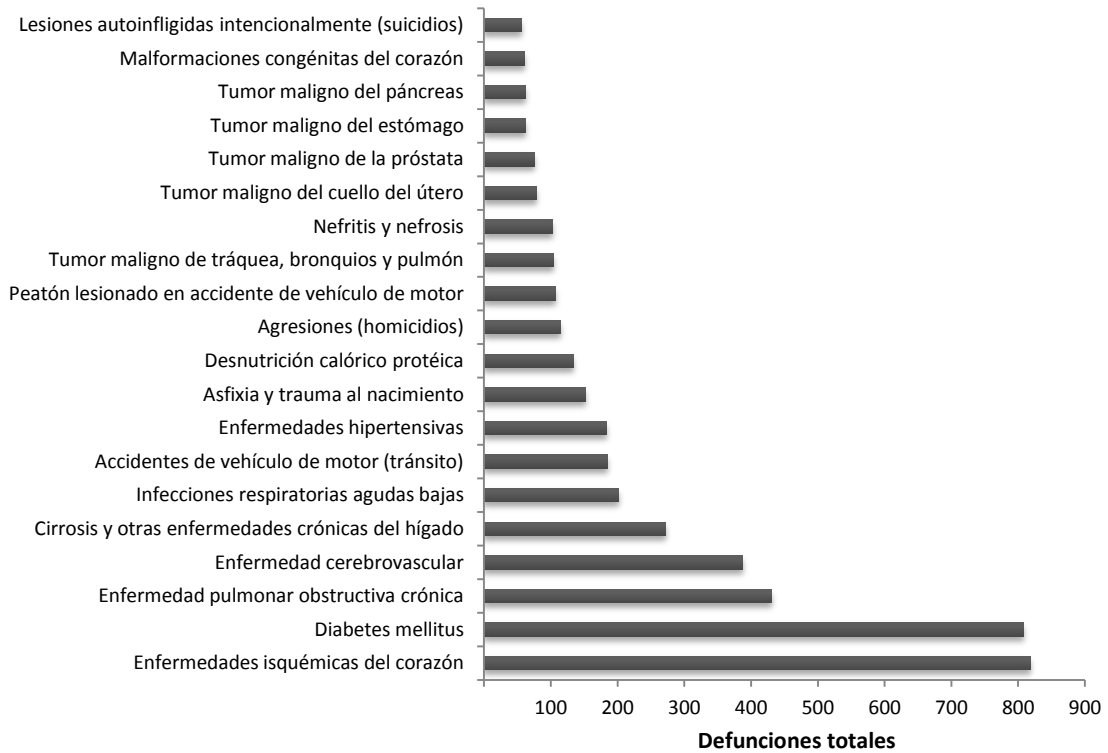


Figura 14. 20 principales causas de mortalidad en el municipio de Ocotlán, 1995-2010.

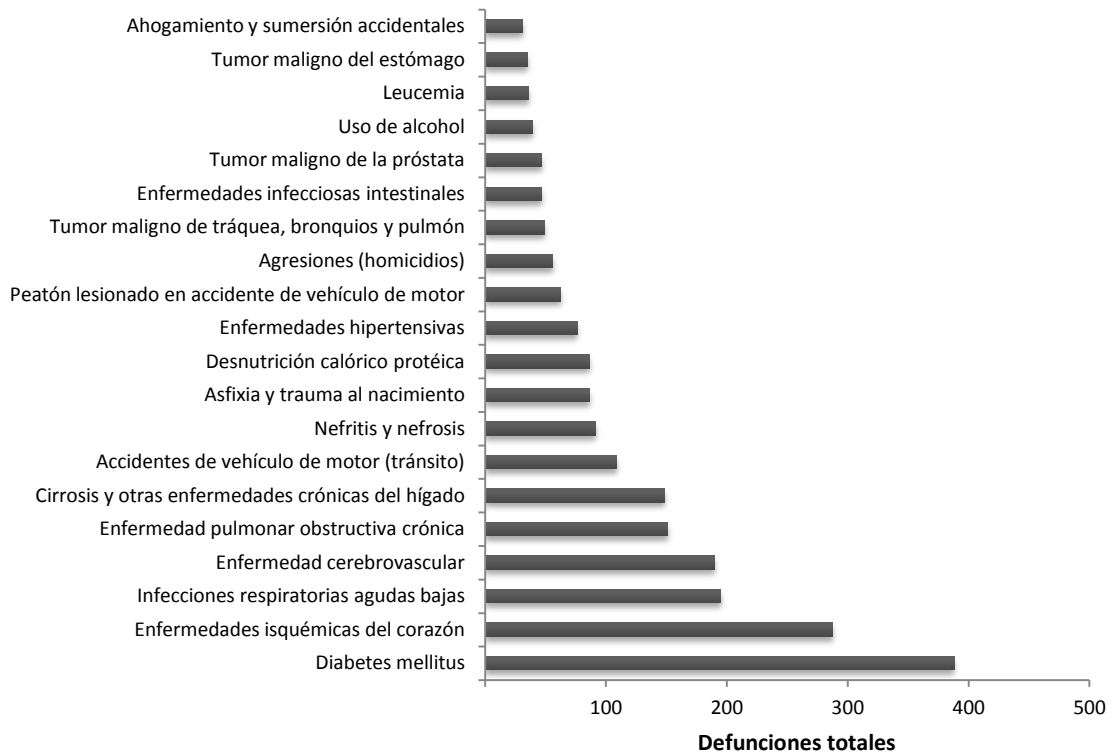


Figura 15. 20 principales causas de mortalidad en el municipio de Poncitlán, 1995-2010.

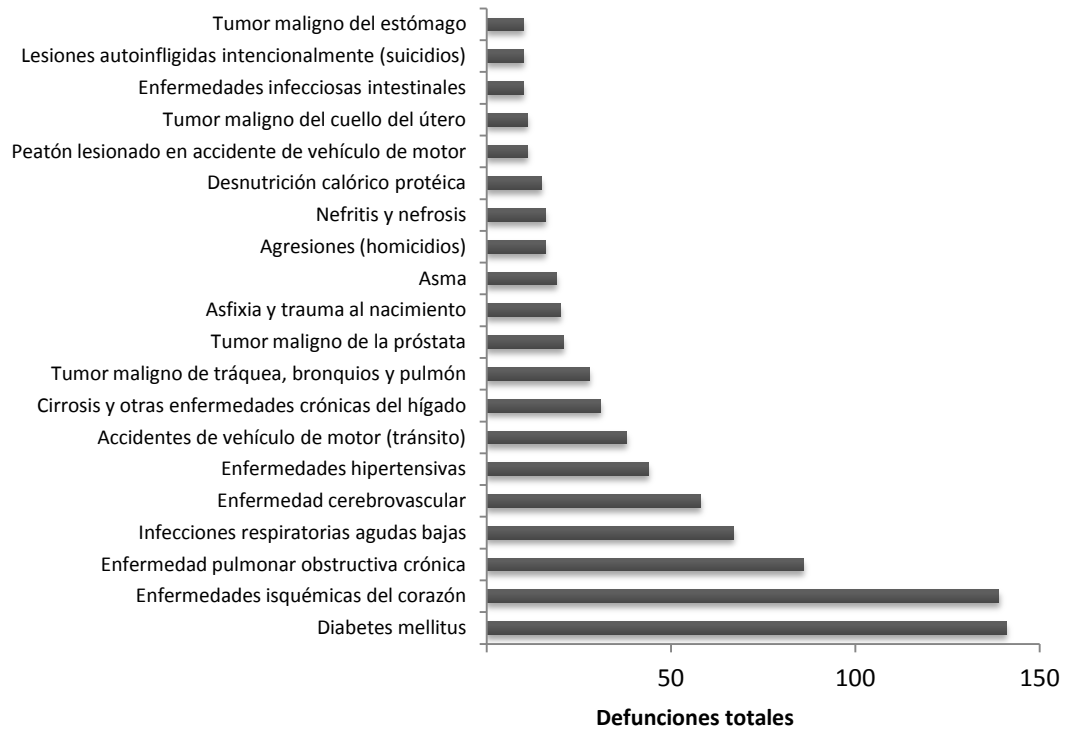


Figura 16. 20 principales causas de mortalidad en el municipio de Zapotlán del Rey, 1995-2010.

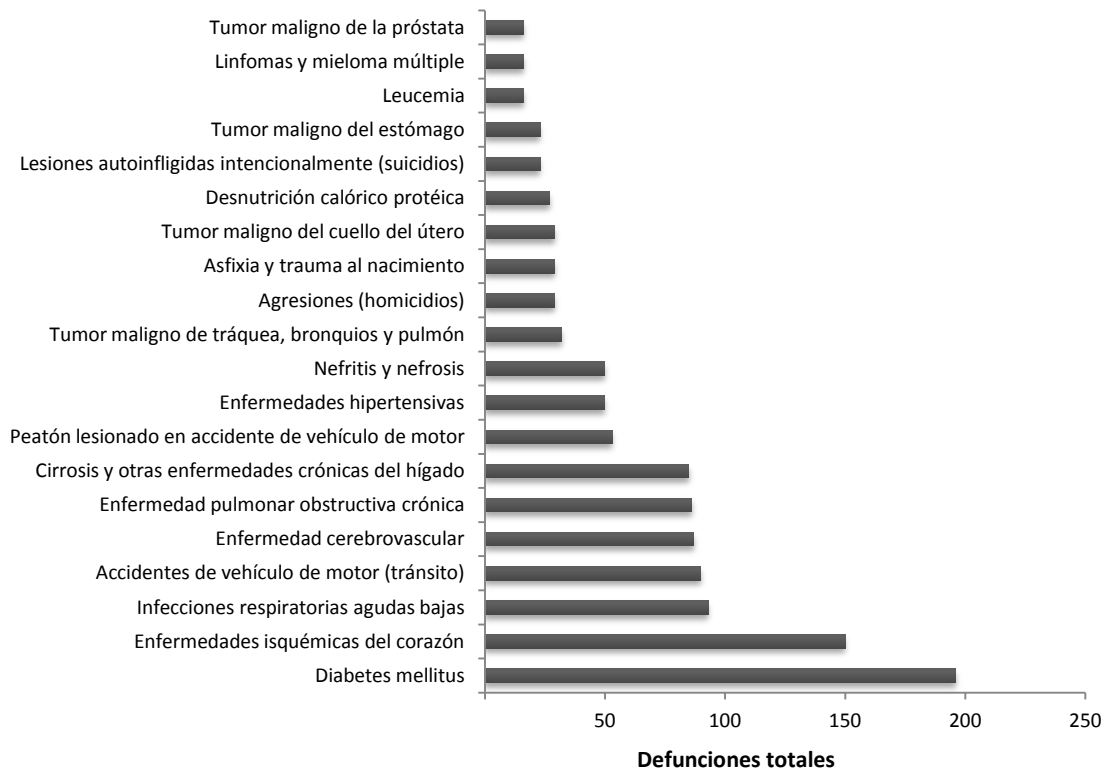


Figura 17. 20 principales causas de mortalidad en el municipio de Ixtlahuacán de los Membrillos, 1995-2010.

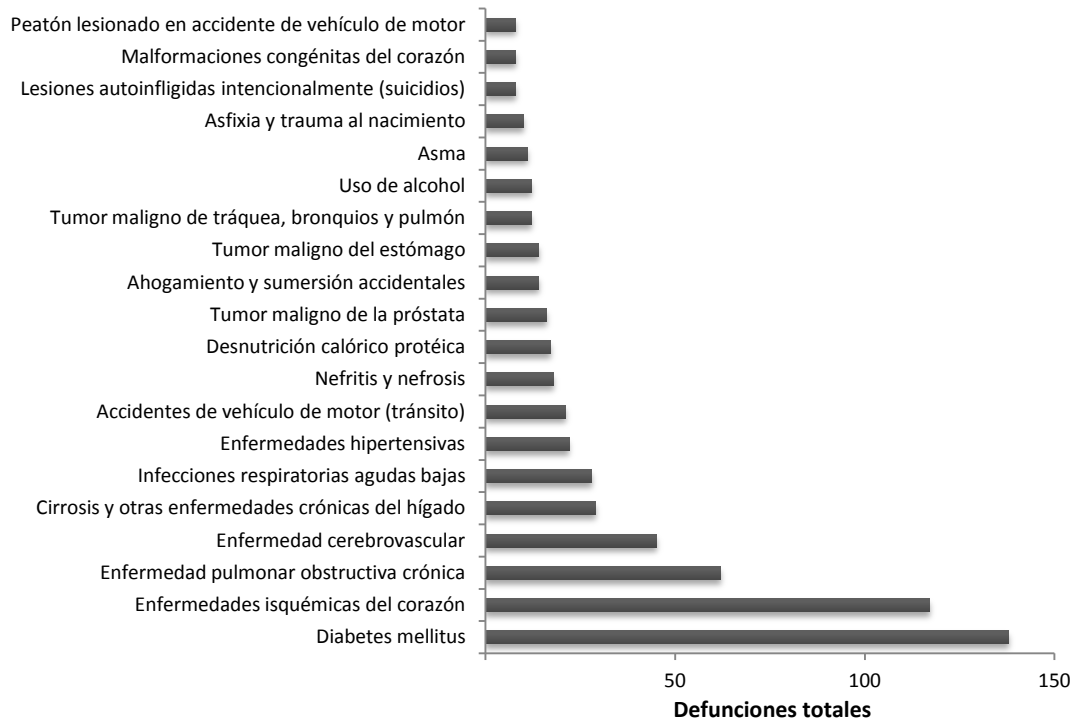


Figura 18. 20 principales causas de mortalidad en el municipio de Juanacatlá, 1995-2010.

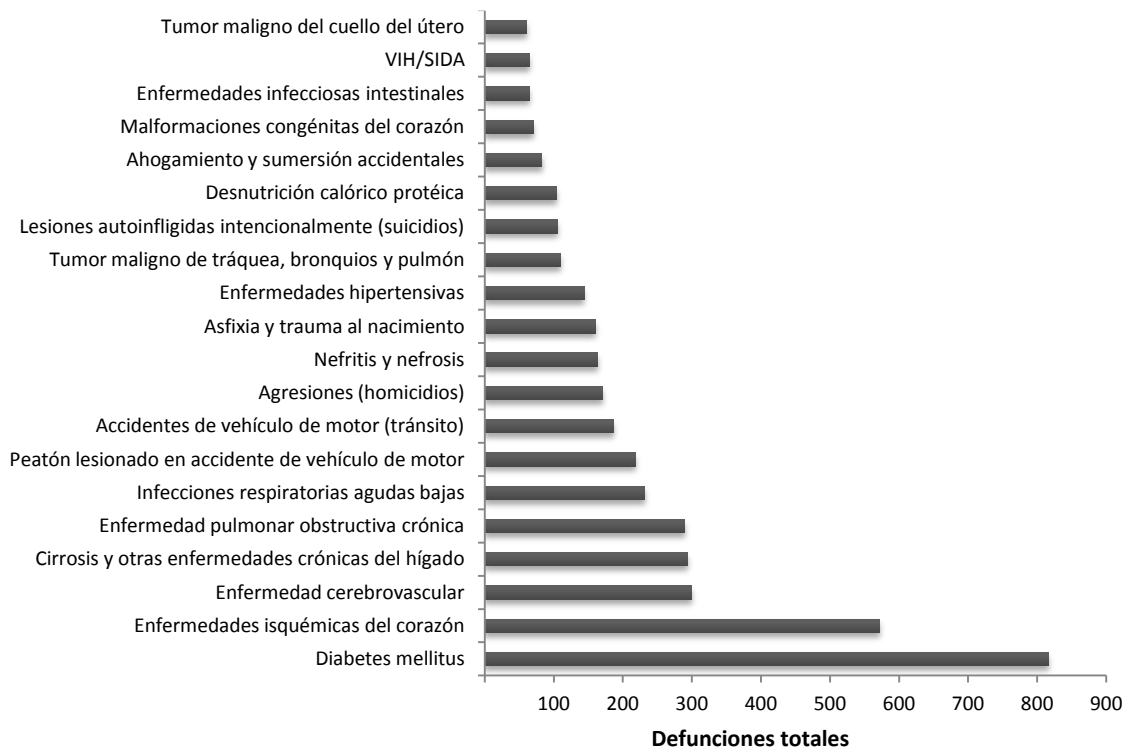


Figura 19. 20 principales causas de mortalidad en el municipio de El Salto, 1995-2010.

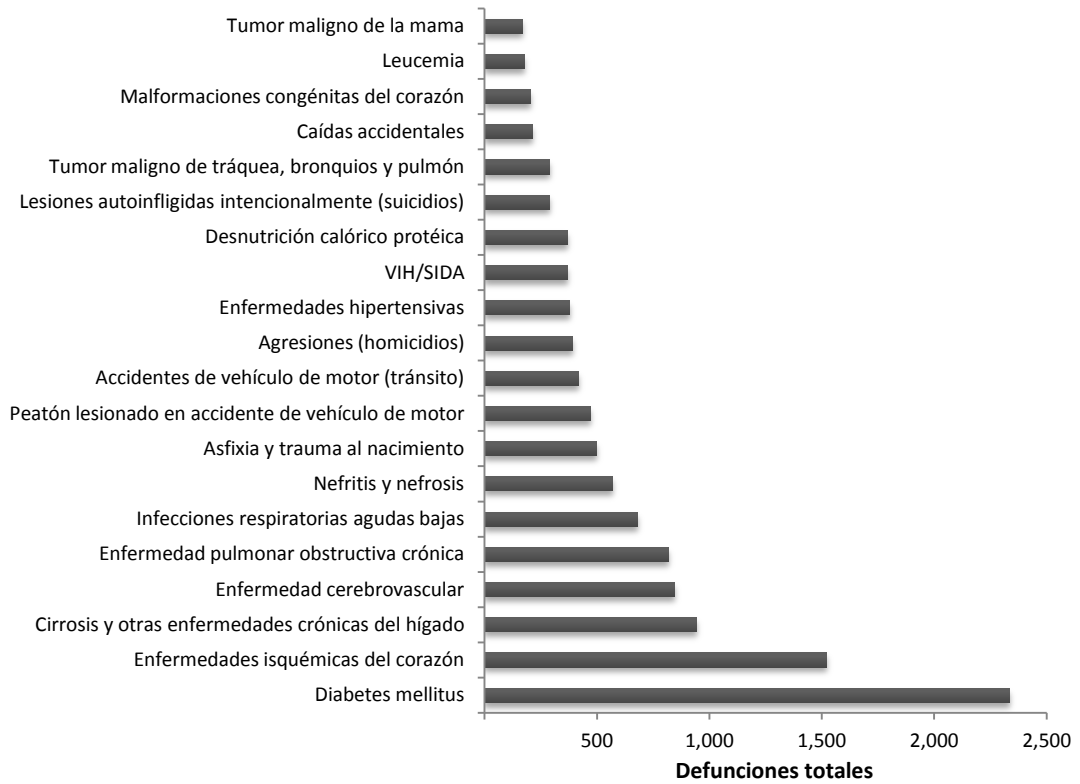


Figura 20. 20 principales causas de mortalidad en el municipio de Tonalá, 1995-2010.

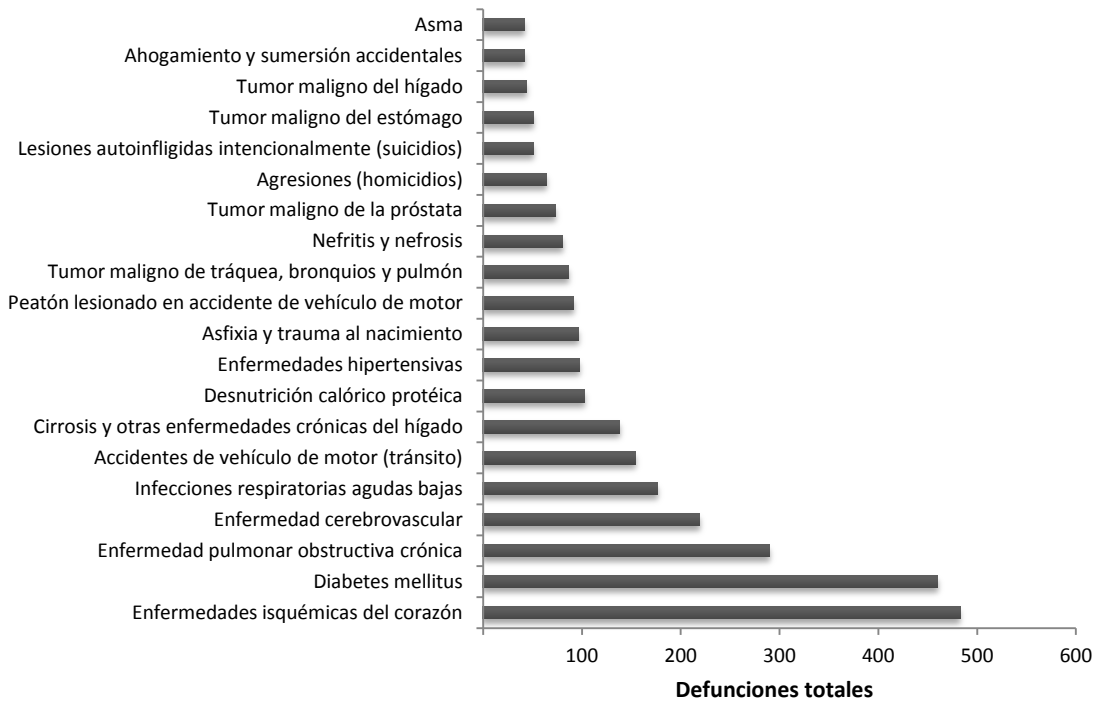


Figura 21. 20 principales causas de mortalidad en el municipio de Zapotlanejo, 1995-2010.

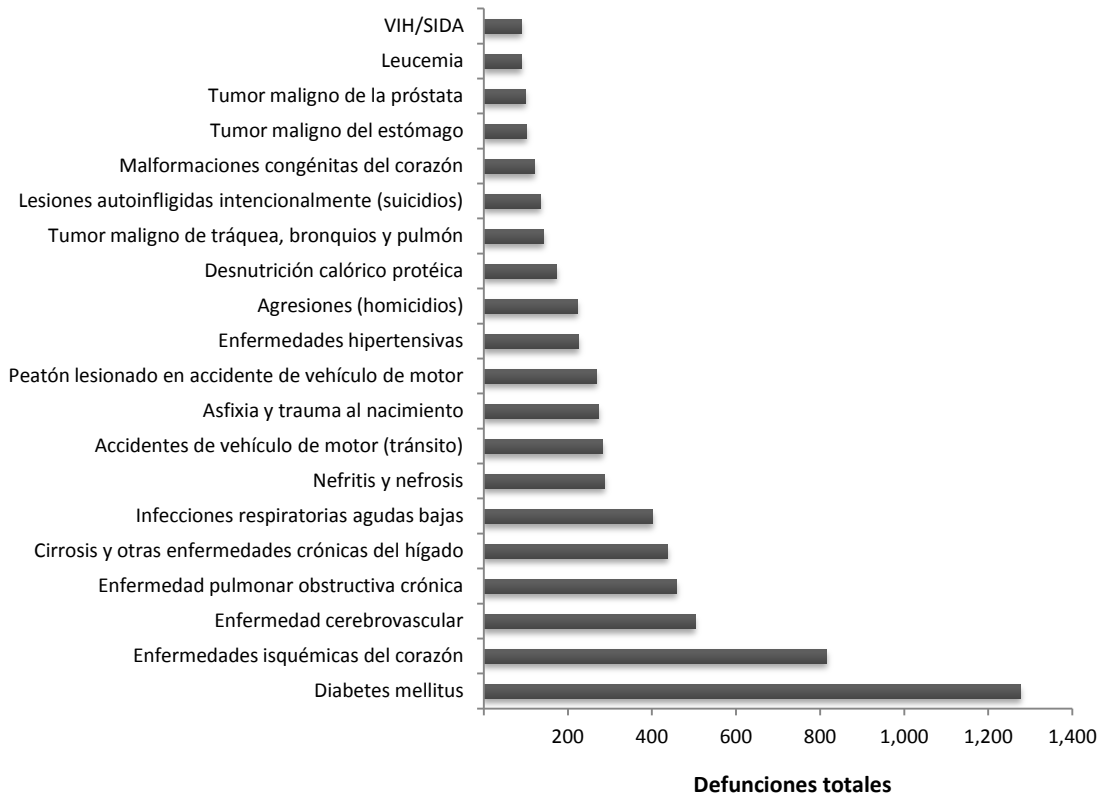


Figura 22. 20 principales causas de mortalidad en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, 1995-2010.

En todos los municipios la principal carga de mortalidad debida a enfermedades del grupo a correspondió a las infecciones respiratorias agudas bajas. La desnutrición calórico proteica, en particular, se encontró en la lista de las 20 principales causas de muerte, aunque en posición muy variante, en todos los municipios. Ocupó la posición más alta en Zapotlanejo y Juanacatlán.

Los tumores malignos no se ubicaron dentro de las diez primeras causas de muerte, salvo los casos de tumor de próstata y tumores de tráquea, bronquios y pulmones en Zapotlán del Rey. La Mortalidad Proporcional (MPCE) por tumores malignos, leucemias y linfomas indicados en cada gráfica para todo el período, correspondió a entre el 3% de las muertes totales en Tonalá y El Salto y 7% en Ixtlahuacán de los Membrillos. Las muertes por tumores malignos de tráquea, bronquios y pulmones, por tumor de estómago y tumor de próstata se encuentran en las segundas diez causas de muerte en todos los municipios excepto en El Salto y Tonalá. En Ocotlán, Zapotlán del Rey, Ixtlahuacán de los Membrillos y El Salto las muertes por tumor maligno del cuello del útero se encuentran en las segundas diez causas. En Poncitlán, Ixtlahuacán de los Membrillos y Tlajomulco de Zúñiga la leucemia está en las últimas posiciones de la lista.

En Ocotlán, Tonalá, Juanacatlán y El Salto las malformaciones congénitas del corazón se encuentran entre las 20 principales causas de muerte. La muerte por asma aparece en la lista sólo para los municipios de Zapotlán del Rey, Zapotlanejo y Juanacatlán.

## Análisis exploratorio

La ampliación de la lista de antecedentes de afectación a la salud en El Salto y Juanacatlán con base en los grupos de la CIE-10 se realizó como se muestra en la Figura 23, la lista detallada se encuentra en los Anexos 5 y 6:

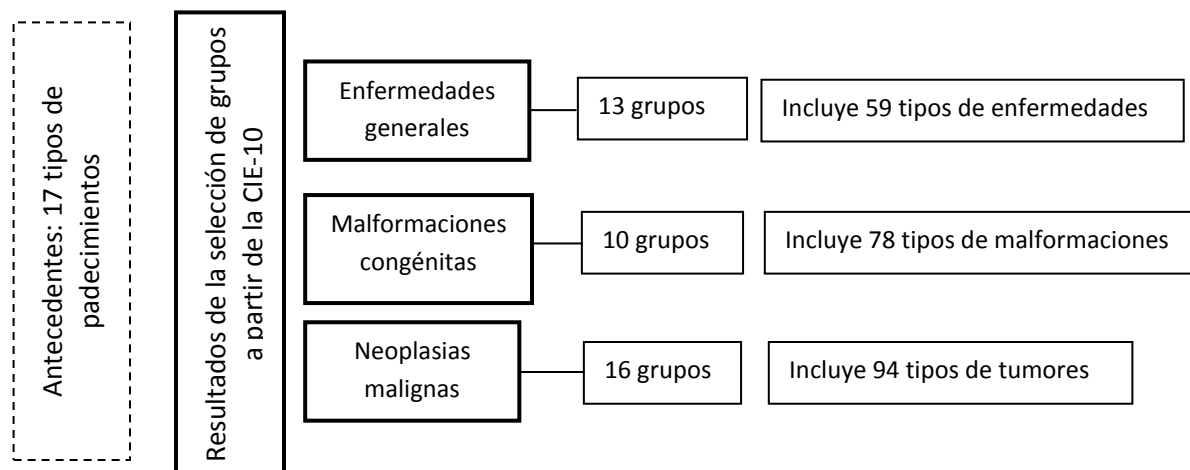
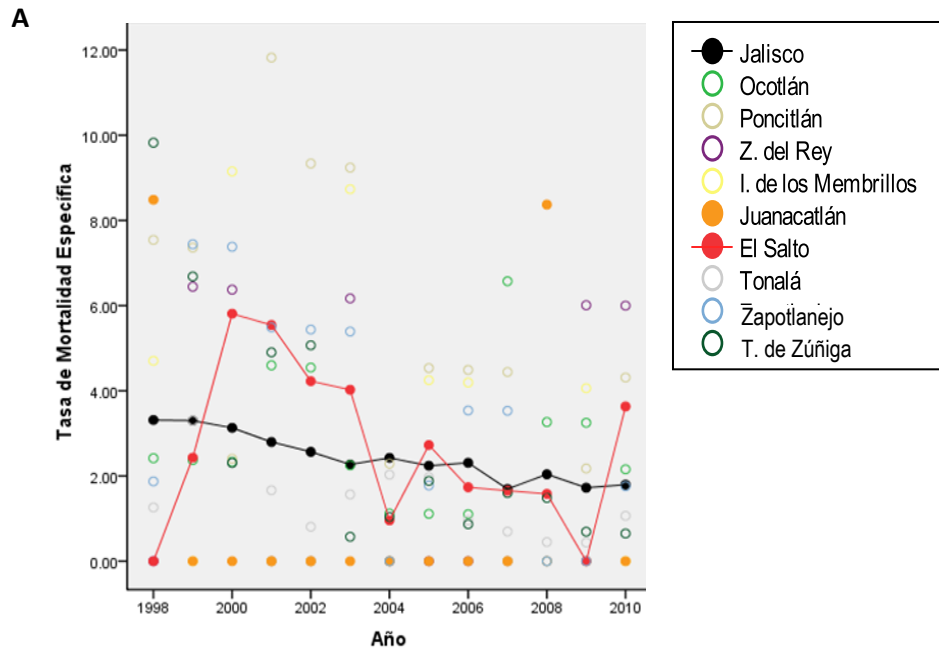
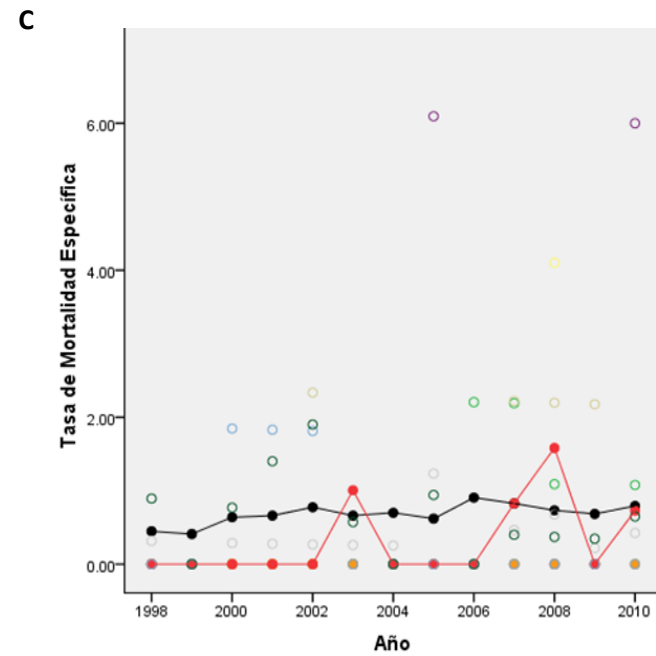
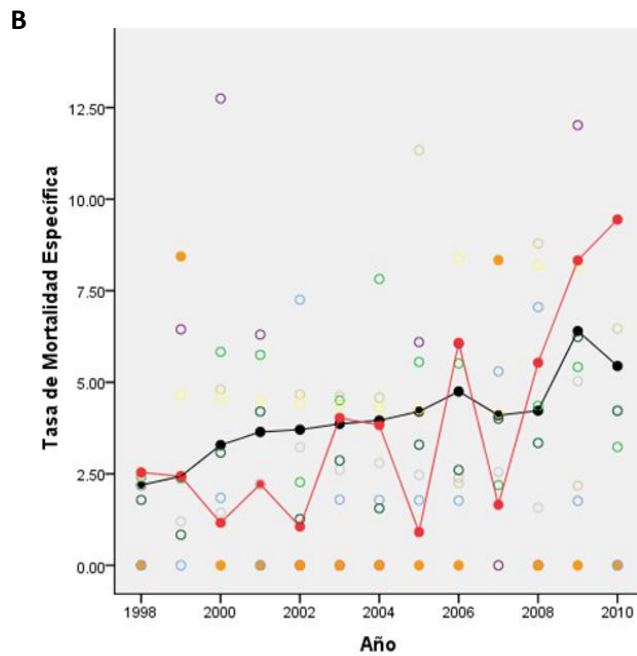


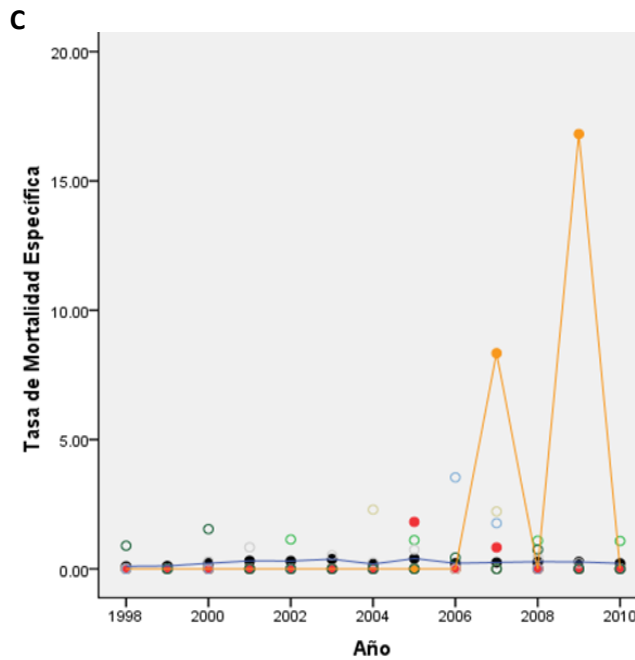
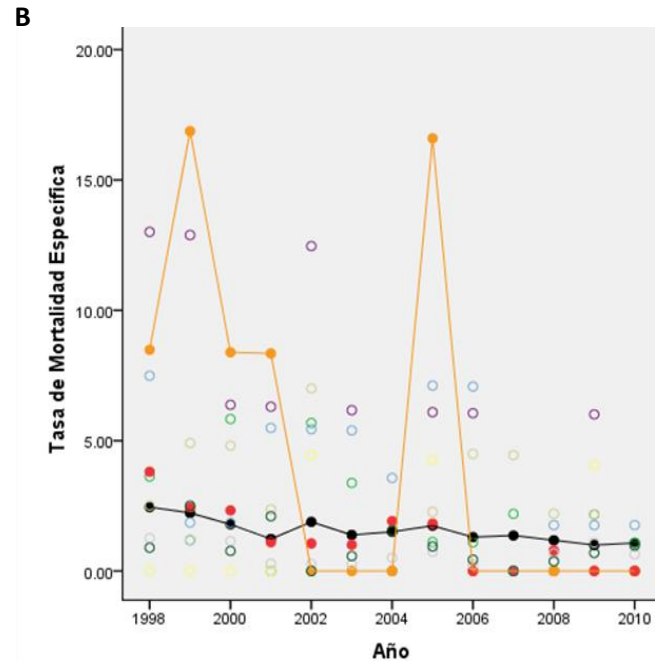
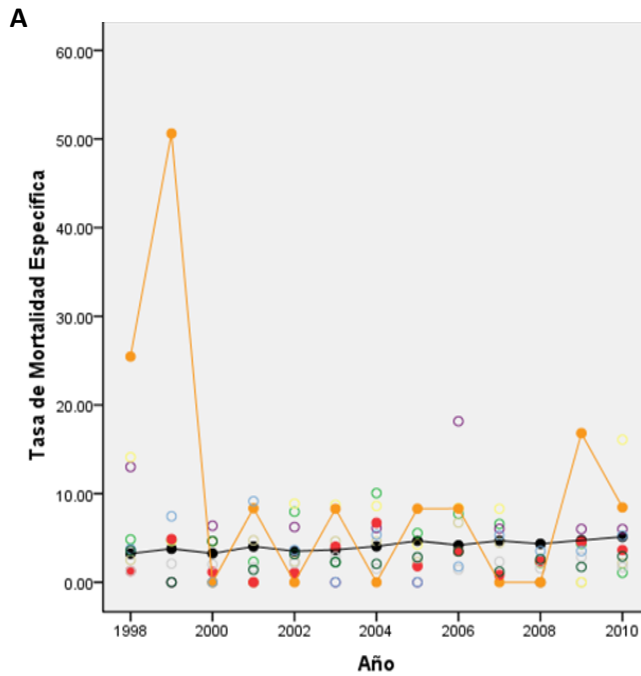
Figura 23. Selección de causas de muerte para el análisis exploratorio.

Calculamos las tasas de mortalidad específica (TME) anuales de cada una de las enfermedades abarcando el período 1998-2010. La comparación entre los datos municipales y estatales nos permitió conocer el tipo de enfermedades con TME mayores a las estatales en al menos 2 años en El Salto (Fig. 24), Juanacatlán (Fig. 25) o en ambos municipios (Fig. 26). La lista final incluyó nueve enfermedades. Usamos los mismos criterios de inclusión para análisis posteriores en el caso de las TME por tumores malignos en la población general y según el sexo (Tabla 4), así como para las TME por malformaciones congénitas en menores de 15 años (Fig. 27).

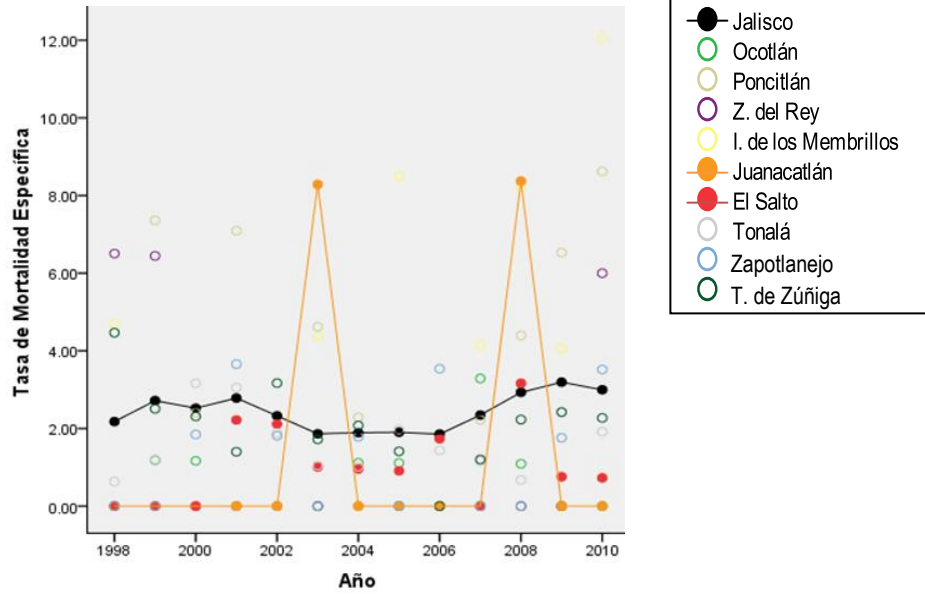


**Figura 24.** Tasa de mortalidad específica (TME) por 100,000 habitantes a lo largo del tiempo por municipio y para el Estado de Jalisco, 1998-2010. **(A)** Diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso, **(B)** Enfermedad renal hipertensiva, **(C)** Enfermedad cardiorrenal hipertensiva. Con datos de SINAIS 2012

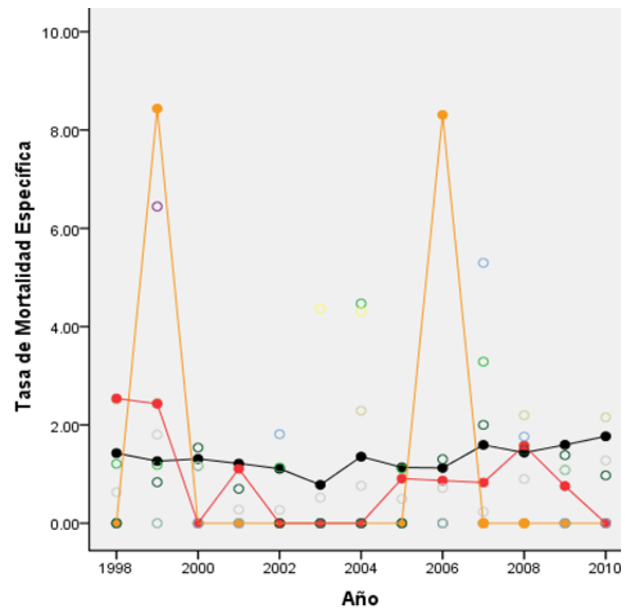
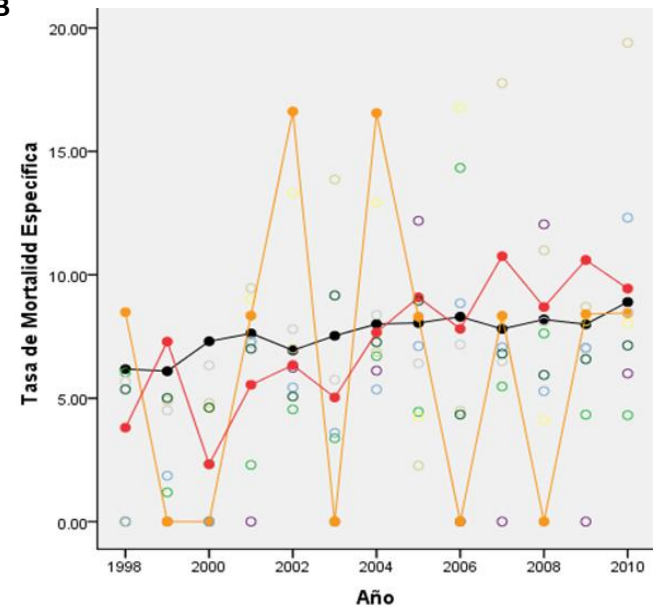




**Figura 25.** Tasa de mortalidad específica por 100,000 habitantes en a lo largo del tiempo según municipio en comparación con el estado de Jalisco, 1998-2010. **(A)** Hipertensión esencial primaria, **(B)** Asma, **(C)** Estado asmático, **(D)** Insuficiencia renal no especificada. *Con datos de SINAIS 2012*

**D**

**Figura 26.** Tasa de mortalidad específica por 100,000 habitantes en a lo largo del tiempo según municipio, 1998-2010. **(A)** Insuficiencia renal aguda, **(B)** Insuficiencia renal crónica, **(C)** Otros trastornos respiratorios. Con datos de SINAIS 2012.

**A****B**

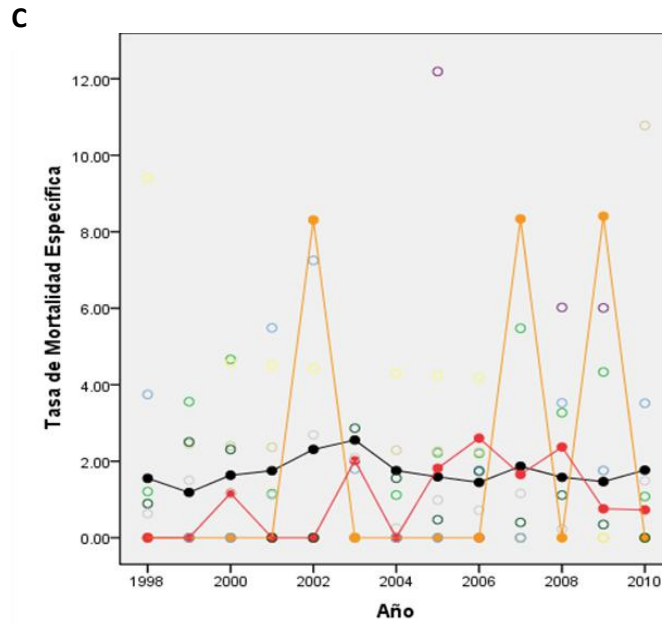
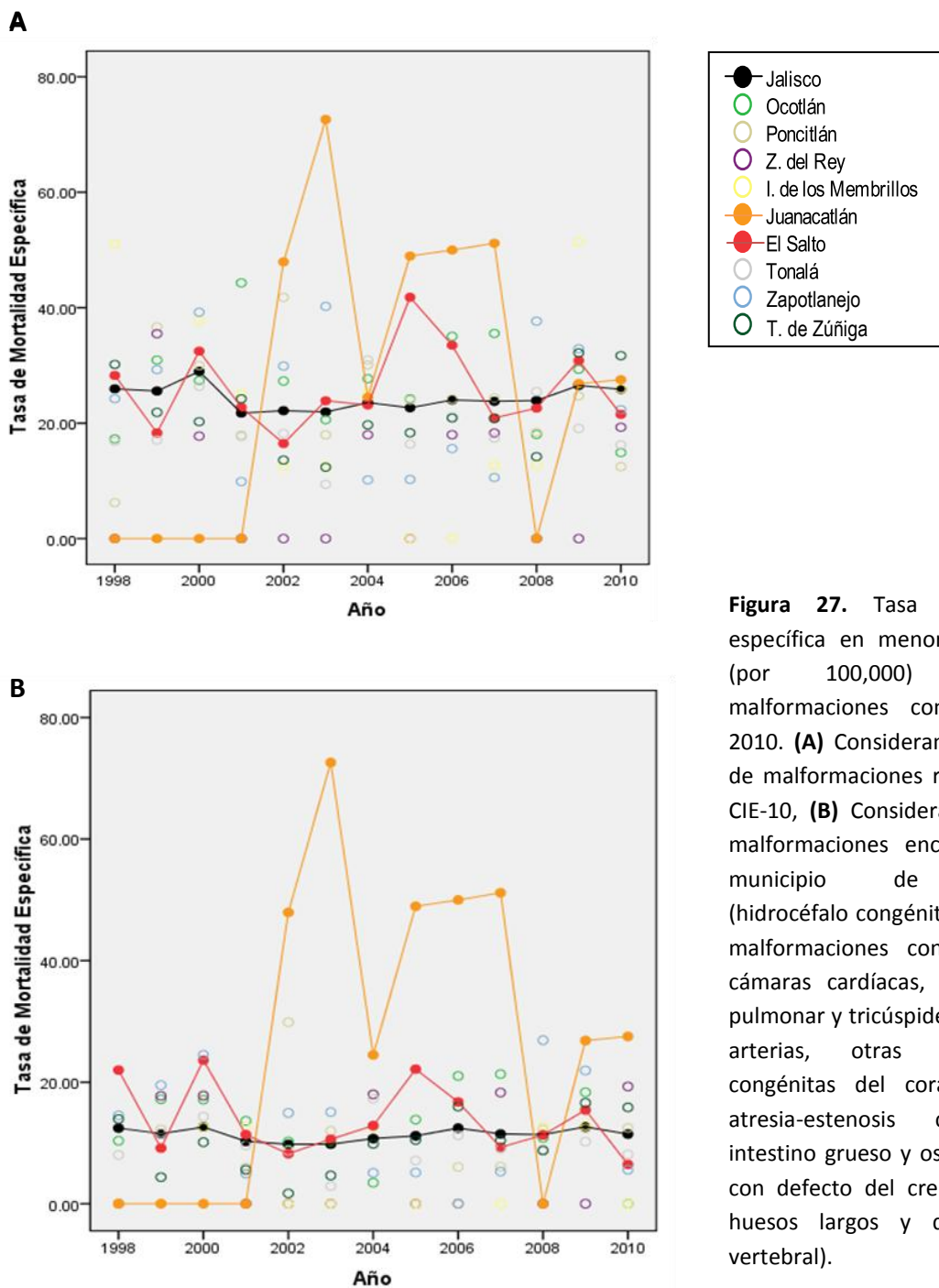


Tabla 4. Tumores malignos por municipio seleccionados para análisis posteriores según criterios de inclusión.

| El Salto  | Juanacatlán                           |
|---|---------------------------------------|
| Tumor maligno   | Tumor maligno                         |
| Otros sitios y de los mal definidos del labio                 | Esófago                               |
| Otros sitios y de los mal definidos de los órganos digestivos | Estómago                              |
| Laringe   | Colon                                 |
| Peritoneo y retroperitoneo                                    | Hígado y vías biliares intrahepáticas |
| Otros tejidos conjuntivos y de los tejidos blandos            | Páncreas                              |
| Encéfalo  | Bronquios y de pulmón                 |
| Leucemia mieloide   | Glándula tiroides                     |
| Leucemia linfoide   | Próstata*                             |
| Mama*   | Leucemia linfoide                     |
|   | Mama*                                 |

\* Ajustados según sexo.

Con respecto a las malformaciones congénitas, dado que la incidencia es baja y la mortalidad aún menor, calculamos la tasa de mortalidad específica por malformaciones congénitas en menores de 15 años (TMEmc) a partir del total de defunciones ocurridas anualmente según municipio (Fig. 27A). En el caso del municipio de Juanacatlán, de los 78 tipos de malformaciones consideradas, sólo encontramos defunciones para 8 tipos, los cuales se muestran en comparación en la Fig. 27B.



**Figura 27.** Tasa de mortalidad específica en menores de 15 años (por 100,000) debida a malformaciones congénitas, 1998-2010. **(A)** Considerando los 78 tipos de malformaciones registradas en la CIE-10, **(B)** Considerando sólo las 8 malformaciones encontradas en el municipio de Juanacatlán (hidrocéfalo congénito, espina bífida, malformaciones congénitas de las cámaras cardíacas, de las válvulas pulmonar y tricúspide, de las grandes arterias, otras malformaciones congénitas del corazón, ausencia-atresia-estenosis congénita del intestino grueso y osteocondroplasia con defecto del crecimiento de los huesos largos y de la columna vertebral).

Entonces, se observa que de los 59 tipos de enfermedades analizadas, las TME por diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso, enfermedad renal hipertensiva y enfermedad cardiorenal hipertensiva en El Salto superaron en algunos años las TME calculadas a nivel estatal; que en el municipio de Juanacatlán en algunos años se presentaron TME elevadas a causa de hipertensión esencial primaria, asma, estado asmático e insuficiencia renal no especificada; y que en ambos municipios se presentaron en distintos años TME superiores a la estatal por padecimientos como insuficiencia renal aguda, insuficiencia renal crónica y otros trastornos respiratorios.

Respecto a la mortalidad por tumores malignos, de los 94 tipos analizados, en el municipio de El Salto sobresalieron en algunos años las TME para seis de ellos, aunque tres corresponden a categorías residuales o los mal definidos; en Juanacatlán resaltaron siete tipos por superar las TME estatales, de los cuales cinco corresponden al grupo de tumores malignos de los órganos digestivos de la CIE-10. Ambos municipios superaron, aunque de manera marginal, las TME estatales para leucemia linfocítica y cáncer de mama.

Sobre las malformaciones congénitas algunas no presentan registros de defunción ya que no son letales. El Salto, Juanacatlán y Ocotlán presentaron TME que superaron las estatales para la suma de todas las muertes por malformaciones en menores de 15 años. Al reducir la comparación tan sólo para aquellas malformaciones representadas en Juanacatlán, la brecha entre la TME presentada en éste y el resto de los municipios se amplió aún más.

Si bien el análisis exploratorio se centró en los datos epidemiológicos de El Salto y Juanacatlán, en relación con los del Estado de Jalisco, se puede notar que el resto de los municipios estudiados, en ocasiones también rebasan la TME estatal.

### **Análisis comparativo: por municipio y por región**

Las tasas para cada uno de los años del período presentan una enorme fluctuación a lo largo del tiempo, como puede apreciarse en las Figuras 24-27. Para reducirla hicimos una estimación de la TME por cuatrienios ( $TME_{i-f}$ ), aunque para considerar los trece años el primer período corresponde a un quinquenio (Anexo 7).

En el último cuatrienio del período de análisis (2008-2010), observamos una mayor tasa de mortalidad debido a diarreas y gastroenteritis de presunto origen infeccioso, enfermedad renal hipertensiva, estado asmático e insuficiencia renal no especificada en el caso de Juanacatlán, mientras que en El Salto observamos un incremento en las tasas de mortalidad a causa de enfermedad renal hipertensiva, insuficiencia renal crónica e insuficiencia renal no especificada. Las tendencias coinciden con las observadas en el estado, salvo en el caso de las muertes por enfermedades diarreicas y gastroenteritis y el estado asmático.

Para reducir el efecto del tamaño poblacional y permitir una mejor comparación entre municipios, hicimos una regionalización de acuerdo con los criterios señalados anteriormente. Así,

comparamos los estimados de las tasas de mortalidad específica de 1998 a 2010 ( $TME_{98-10}$ ) por grupos de enfermedades causantes de defunciones entre cada una de las cuatro regiones resultantes (Tabla 5). Las regiones cumplieron los criterios de agrupación por vecindad e igualdad en el IDH.

Tabla 5. Caso 1: estimación de la  $TME_{98-10}$  \* por grupos de enfermedades.

| Clave de región | Enfermedades infecciosas intestinales | Enfermedades hipertensivas | Enfermedades crónicas de las vías respiratorias superiores | Insuficiencia renal |
|-----------------|---------------------------------------|----------------------------|--|---------------------|
| P·O·ZR          | 4.14                                  | 13.93                      | 3.04   | 8.69                |
| J·IM·S          | 2.90                                  | 10.43                      | 1.67   | 9.62                |
| Z·T             | 1.83                                  | 7.10                       | 1.30   | 9.21                |
| TZ              | 2.23                                  | 7.40                       | 0.99   | 8.90                |

\* Por 100,000 hab. Fuente: elaborado con datos de SINAIS 2012

La región P·O·ZR, ubicada al sureste, que agrupó los municipios de Ocotlán, Poncitlán y Zapotlán del Rey, y la región J·IM·S, ubicada hacia el centro, que agrupó los municipios de El Salto, Juanacatlán e Ixtlahuacán de los Membrillos, tuvieron las estimaciones de  $TME_{98-10}$  comparativamente más elevadas por causas referentes a enfermedades infecciosas intestinales, enfermedades hipertensivas y enfermedades crónicas de las vías respiratorias superiores. La región J·IM·S tuvo la mayor  $TME_{98-10}$  por causas referidas al grupo de enfermedades catalogadas como insuficiencia renal, seguida por la región Z·T, ubicada al noroeste, integrada por los municipios de Tonalá y Zapotlanejo.

Las descargas industriales y las aguas residuales municipales afectan la química del agua, generando cocteles químicos de compuestos orgánicos e inorgánicos en los ríos y lagos (Malmqvist y Rundle, 2002). En años recientes se ha alertado que también vivir cerca de ríos contaminados es un factor de riesgo y que se acentúa con la presencia de zonas industriales (Tabla 6). Se ha observado que los habitantes asentados a menos de 5 km de ríos con un grado de contaminación alto presentan un riesgo relativo de padecer enfermedades crónicas entre 1.13 y 10.1 veces mayor que aquellos que viven a más de 10 km de distancia de los ríos (Tabla 6. Miller et al., 2004; Verkasalo et al., 2004; Motta et al., 2008; Juang et al., 2010). En México, los reportes muestran esta misma asociación (Provencio et al., 1994; Hannsen et al., 2001; Montero et al., 2006).

Tabla 6. Riesgo relativo de padecimientos en poblaciones cercanas a fuentes de emisión fija de contaminantes o ríos contaminados.

| Fuente  | Distancia (km) | Riesgo relativo  | Compuesto identificados en el cuerpo de agua  | Patologías en la población   | Referencias            |
|---|----------------|------------------|---|--|------------------------|
| <b>Instalaciones industriales</b>                 |                |                  |   |  |                        |
| Planta de plaguicidas, Waltham Abbey, Reino Unido | <1             | 1.10 (1-1.22)    | 250 sustancias químicas procesadas  | Cáncer total (5 tipos diferentes)  | Wilkinson et al., 1994 |
|   | <1             | 2.22             |   | Melanoma de piel   |                        |
|   | <7.5           | 1.04 (1.02-1.06) |   | Cáncer total ( 5 tipos diferentes)   |                        |
|   | <7.5           | 1.52 (1.19-1.93) |   | Melanoma de piel   |                        |
| Planta de incinerador en Mantua, Italia           | <2             | 31.4 (5.6-176.1) | Emisión 2,3,7,8-TCDD  | Sarcoma, dermatofibrosarcoma, liposarcoma, leiomiomasarcoma  | Comba et al., 2003     |
|   | 3-4            | 1.2 (0.4-3.4)    |   |  |                        |
|   | 4-5            | 1.6(0.6-4.5)     |   |  |                        |
|   | >5             | 1                |   |  |                        |
|   |                |                  |   |  |                        |
| <b>Cuerpos de Agua superficiales</b>              |                |                  |   |  |                        |
| Río Kymijoki, Finlandia                           | < 1            | 1.04 (0.99-1.09) | Dibenzo- <i>p</i> -dioxinas policlorinadas (PCDD), 2,3,7,8-TCDD, dibenzofurtanos (PCDF)   | Cáncer total (27 tipos diferentes)   | Verkasalo et al., 2004 |
| Río Kymijoki, Finlandia                           | 1-4.9          | 1.09 (1.04-1.13) | Dibenzo- <i>p</i> -dioxinas policlorinadas, dibenzofurtanos   | Cáncer total (27 tipos diferentes)   | Verkasalo et al., 2004 |
| Río Kymijoki, Finlandia                           | 5-19.9         | 1                | Dibenzo- <i>p</i> -dioxinas policlorinadas, dibenzofurtanos   | Cáncer total (27 tipos diferentes)   | Verkasalo et al., 2004 |
| Río Pilcomayo, Bolivia                            | 26             | Sin registro     | Cadmio, plomo, zinc y arsénico  | Sin registro   | Miller et al., 2004    |
| Ríos Sarno, Cavaiola y Solofrana, Italia          | <1             | Sin dato         | Cadmio, cromo, plomo, zinc, cobre, bromuros, nitratos, fosfatos sulfatos y microorganismos  | Gastroenteritis  | Motta et al., 2008     |
| Ríos Tittabawassee y Saginaw, E.U.                | Vecindad       | 1.66-1.76        | Benceno, solventes clorinados, dioxinas, plaguicidas organoclorados e hidrocarburos aromáticos policíclicos, i,2-dicloroetano, arsénico, compuestos de cromo, diclorometano, naftaleno y compuestos de níquel | Cáncer de mama y cáncer de pulmón  | Guajardo y Oyana, 2009 |
| Río Fong Shan, Japón                              | 0.225          | 3.13             | 26 tipos de compuestos orgánicos volátiles  | Enfermedades crónicas obstructivas en pulmones, enfisema, bronquitis crónica, hígado, riñones y neuropatías. | Juang et al., 2010     |

Los municipios de Ocotlán, Juanacatlán y El Salto tienen asentado más del 90% de su población dentro de los primeros 5 km con respecto al Río Grande de Santiago y Arroyo El Ahogado, mientras que Ixtlahuacán de los Membrillos, Poncitlán y Zapotlán del Rey tienen entre el 70% y el 40% y el resto de los municipios menos del 20% (Tabla 7).

Tabla 7. Proporción de la población en los primeros 5 km del Río Grande de Santiago y Arroyo El Ahogado por municipio.

| Municipio                     | Población total (2010) | Población en primeros 5 km | Proporción (%) |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------|----------------|
| Ocotlán                       | 92,967                 | 85,473                     | 91.9           |
| Poncitlán                     | 48,408                 | 31,706                     | 65.5           |
| Zapotlán del Rey              | 17,585                 | 7,862                      | 44.7           |
| Ixtlahuacán de los Membrillos | 41,060                 | 24,384                     | 59.4           |
| Juanacatlán                   | 13,218                 | 13,188                     | 99.8           |
| El Salto                      | 138,226                | 138,222                    | 100.0          |
| Tonalá                        | 478,689                | 63,013                     | 13.2           |
| Zapotlanejo                   | 63,636                 | 8,388                      | 13.2           |
| Tlajomulco de Zúñiga          | 416,626                | 85,957                     | 20.6           |

*Fuente: Calculado con datos de COEPO 2010.*

En consecuencia, consideramos para la regionalización criterios de agrupamiento, tomando la proporción de habitantes en los primeros 5 km de los cauces y su similitud entre municipios (Tabla 8). En este segundo análisis, tras considerar la proporción de la población por municipio cercana al Río Grande de Santiago o Arroyo el Ahogado, la región P·O·ZR fue subdividida ya que la proporción de población cercana al río en Ocotlán difería en más del 25% con respecto a la proporción de población en los otros dos municipios. Aunque se presentó el mismo problema para la región J·IM·S en tanto que la proporción de población cercana al río en Ixtlahuacán de los Membrillos difería en más del 25% respecto a los otros dos municipios, éste no fue desagrupado debido a que su tamaño poblacional es demasiado pequeño (< 25,000 habitantes). Como puede observarse en el segundo caso de análisis por regiones (Tabla 9), la región Oc ubicada al sureste, conformada por Ocotlán, y la región J·IM·S, conformada por Juanacatlán, Ixtlahuacán de los Membrillos y El Salto, presentaron de nuevo las estimaciones de TME<sub>98-10</sub> comparativamente más elevadas por causas referentes a enfermedades infecciosas intestinales, enfermedades hipertensivas y enfermedades crónicas de las vías respiratorias superiores. En las Figs. 28-31 se representa cualitativamente lo anterior.

Tabla 8. Caso 2. Municipios agregados según IDH, distancia entre cabeceras municipales y proporción de habitantes cerca de los cuerpos de agua contaminados.

| Clave de región | IDH <sup>1</sup> | Municipios  | Proporción de habitantes en primeros 5km <sup>†</sup> (%) | Distancia entre cabeceras municipales (km) |
|-----------------|------------------|---|---|--|
| P-ZR            | 0.79             | (1) Poncitlán<br>(2) Zapotlán del Rey                                 | 40-65   | (1)-(2): 10.0                              |
| Oc              | 0.79             | Ocotlán   | >90   | -  |
| J-IM-S          | 0.86             | (3) Juanacatlán*<br>(4) El Salto<br>(5) Ixtlahuacán de los Membrillos | >60   | (3)-(4): 2.1<br>(3)-(5): 19                |
| Z-T             | 0.86             | (6) Tonalá<br>(7) Zapotlanejo   | <20   | (6)-(7): 20.3                              |
| TZ              | 0.86             | Tlajomulco de Zúñiga  | 20  | -  |

<sup>1</sup> Índice de Desarrollo Humano calculado de acuerdo a la región administrativa en 2005 (PNUD 2009). <sup>†</sup> Calculado con datos de COEPO 2010. \* Municipio de referencia

Tabla 9. Caso 2: TME<sub>98-10</sub> por grupos de enfermedades

| Clave de región | Población en 5 km (%) | Enfermedades                          |                            |  |                     |
|-----------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------------|--|---------------------|
|                 |                       | Enfermedades infecciosas intestinales | Enfermedades hipertensivas | Enfermedades crónicas de las vías respiratorias superiores | Insuficiencia renal |
| Oc              | >90                   | 3.16                                  | 14.29                      | 2.45   | 7.10                |
| J-IM-S          | 59-100                | 2.90                                  | 10.43                      | 1.67   | 9.62                |
| P-ZR            | 40-65                 | 2.25                                  | 5.39                       | 1.57   | 4.45                |
| TZ              | 20                    | 2.23                                  | 7.40                       | 0.99   | 8.90                |
| Z-T             | <20                   | 1.83                                  | 7.10                       | 1.30   | 9.21                |

Tasa de mortalidad específica (TME<sub>98-10</sub>) por grandes grupos de enfermedades por región

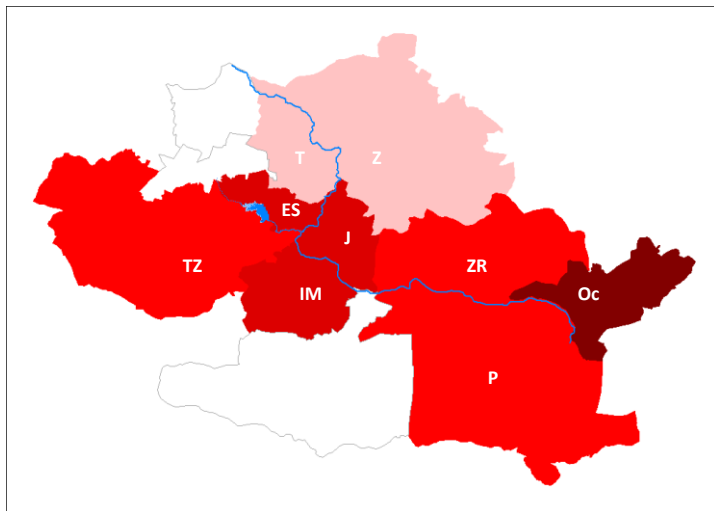


Figura 28. Enfermedades infecciosas intestinales

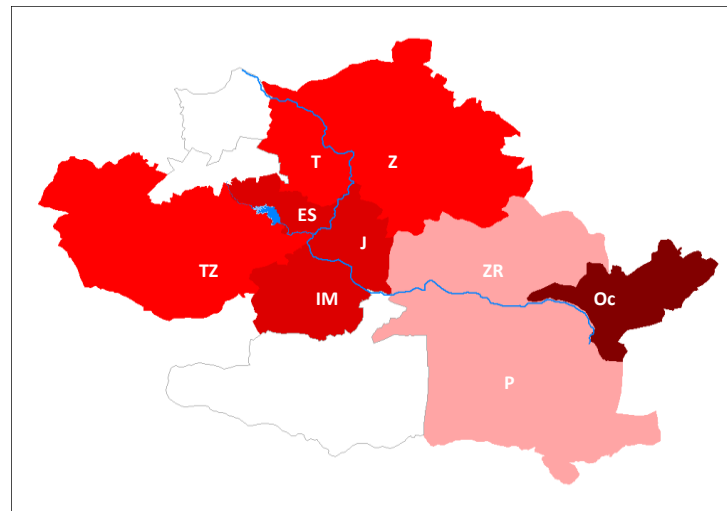


Figura 29. Enfermedades hipertensivas

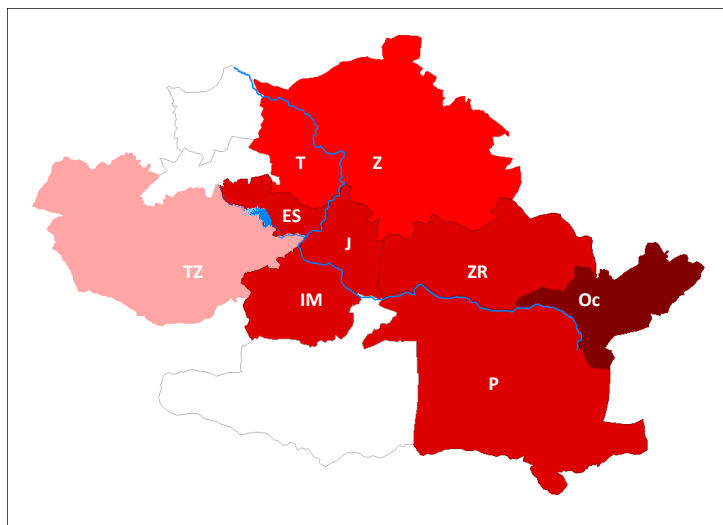


Figura 30. Enfermedades crónicas de las vías respiratorias superiores

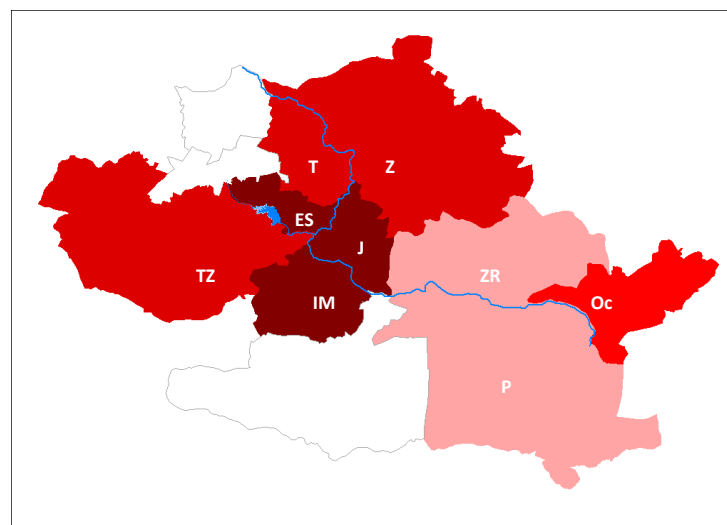


Figura 31. Insuficiencia renal

■ Baja    ■ Intermedia baja    ■ Intermedia alta    ■ Alta

T: Tonalá, Z: Zapotlanejo, ES: El Salto, J: Juanacatlán,  
IM: Ixtlahuacán de los Membrillos, TZ: Tlajomulco de Zúñiga,  
ZR: Zapotlán del Rey, P: Poncitlán, Oc: Ocotlán

De acuerdo con el análisis de los datos históricos sobre los niveles de contaminación del agua (ver Capítulo 4), la región J·IM·S, presentó la peor calidad del agua, además de concentrar un número de industrias importante en comparación con el resto de los municipios. Una proporción importante de la población viviendo en El Salto se encuentra en la confluencia del margen definido dentro de los 5 km de distancia al Arroyo y al Río, lo que presumiblemente podría generar una situación de 'doble exposición'. En cambio, los datos históricos de calidad del agua en la sección sureste del Río Grande de Santiago (P·ZR y Oc) no indican niveles similares de contaminación. No obstante, la misma proporción de población en el margen de 5 km de distancia al Río Grande de Santiago en la región Oc, municipio de Ocotlán, se encuentra asentada en el margen de 5 km del Río Zula, afluente del Santiago con elevada contaminación (ver Capítulo 4). Aun cuando en nuestro estudio no incluimos al Río Zula, es importante considerarlo como otra posible fuente de exposición.

Para conocer la importancia relativa de cada uno de los grupos de enfermedades analizados arriba, hicimos una última prueba. El indicador de mortalidad proporcional por causa señala la proporción de muertes que ha causado una enfermedad específica respecto al total de defunciones en un período dado. A diferencia de las tasas y las razones obtenidas, no evalúa el riesgo de muerte, sino la importancia relativa de cada enfermedad (o grupo de enfermedades) como factor de muerte en relación al total de defunciones ocurridas en el período de análisis (Tabla 10).

Tabla 10. Mortalidad proporcional específica según causas agrupadas en la CIE-10, 1998-2010.

| Residencia              | Defunciones<br>totales | Defunciones por grupos de causa                            |             |   |             |  |             |  |             |          |             |
|-------------------------|------------------------|--|-------------|---|-------------|--|-------------|--|-------------|----------|-------------|
|                         |                        | Enfermedades<br>infecciosas<br>intestinales<br>(A01-A09x ) |             | Enfermedades<br>hipertensivas<br>(I10-I13 ) |             | Enfermedades crónicas<br>de las vías respiratorias<br>superiores<br>(J45, J46) |             | Insuficiencia renal<br>(N17, N18, N19) |             | TOTAL    |             |
|                         |                        | Cantidad   | %           | Cantidad                                    | %           | Cantidad   | %           | Cantidad                               | %           | Cantidad | %           |
| JALISCO                 | 435,826                | 2,473  | <b>0.57</b> | 11,246                                      | <b>2.58</b> | 1,552  | <b>0.36</b> | 7,795                                  | <b>2.27</b> |          | <b>5.78</b> |
| Ocotlán                 | 5,646                  | 36   | <b>0.64</b> | 163   | <b>2.89</b> | 28   | <b>0.50</b> | 81                                     | <b>1.43</b> |          | <b>5.46</b> |
| Poncitlán               | 2,926                  | 38   | <b>1.30</b> | 63  | <b>2.15</b> | 18   | <b>0.62</b> | 74                                     | <b>2.53</b> |          | <b>6.6</b>  |
| Zapotlán del<br>Rey     | 1,000                  | 5  | <b>0.50</b> | 40  | <b>4.00</b> | 12   | <b>1.20</b> | 11                                     | <b>1.10</b> |          | <b>6.8</b>  |
| I. de los<br>Membrillos | 1,537                  | 11   | <b>0.72</b> | 45  | <b>2.93</b> | 3  | <b>0.20</b> | 34                                     | <b>2.21</b> |          | <b>6.06</b> |
| Juanacatlán             | 735                    | 2  | <b>0.27</b> | 20  | <b>2.72</b> | 10   | <b>1.36</b> | 14                                     | <b>1.90</b> |          | <b>6.25</b> |
| El Salto                | 5,572                  | 41   | <b>0.74</b> | 129   | <b>2.32</b> | 18   | <b>0.32</b> | 131                                    | <b>2.35</b> |          | <b>5.73</b> |
| Zapotlanejo             | 3,735                  | 28   | <b>0.75</b> | 96  | <b>2.57</b> | 31   | <b>0.83</b> | 55                                     | <b>1.47</b> |          | <b>5.62</b> |
| Tonalá                  | 16,150                 | 79   | <b>0.49</b> | 332   | <b>2.06</b> | 45   | <b>0.28</b> | 482                                    | <b>2.98</b> |          | <b>5.81</b> |
| Tlajomulco<br>de Zúñiga | 8,826                  | 61   | <b>0.69</b> | 202   | <b>2.29</b> | 27   | <b>0.31</b> | 243                                    | <b>2.75</b> |          | <b>6.04</b> |

Fuente: elaboración con datos de SINAIS 2012

Las defunciones por tumores malignos contribuyeron entre el 11 y el 14% al total de defunciones totales en el período de 1998 a 2010, correspondiendo los valores más altos a Zapotlán del Rey e Ixtlahuacán de los Membrillos y los más bajos a Poncitlán, El Salto y Tlajomulco de Zúñiga. Sin embargo, al considerar sólo la lista de tumores malignos seleccionados según el resultado del *análisis exploratorio*, la proporción relativa de muertes por éstos en particular fue superior en El Salto que en el resto de municipios e incluso que en el estado de Jalisco (Tabla 11). Observamos el mismo patrón en el caso de Juanacatlán y los tumores correspondientes destacados en el *análisis exploratorio* (Tabla 12). En este último caso resalta que la mitad de los tumores considerados corresponden al grupo de los tumores malignos de los órganos digestivos (ver Anexo 6).

Tabla 11. Mortalidad proporcional específica según tumores malignos seleccionados.\*

| Residencia           | Total de defunciones<br>(1998-2010) | Defunciones por tumores<br>(1998-2010) |      |
|----------------------|-------------------------------------|--|------|
|                      |                                     | Casos                                  | (%)  |
| Jalisco              | 435,826                             | 11,544                                 | 2.64 |
| Ocotlán              | 5,646                               | 138                                    | 2.44 |
| Poncitlán            | 2,926                               | 77                                     | 2.63 |
| Zapotlán del Rey     | 1,000                               | 25                                     | 2.50 |
| I. de Los Membrillos | 1,537                               | 35                                     | 2.27 |
| Juanacatlán          | 7,35                                | 13                                     | 1.76 |
| El Salto             | 5,572                               | 169                                    | 3.03 |
| Zapotlanejo          | 3,735                               | 86                                     | 2.30 |
| Tonalá               | 16,150                              | 435                                    | 2.69 |
| Tlajomulco de Zúñiga | 8,826                               | 204                                    | 2.31 |

\* Incluye los siguientes: C14, C26, C32, C48, C49, C50, C71, C91, C92, C94 y C95, de acuerdo a la CIE-10. A partir de datos de SINAIS 2012

Tabla 12. Mortalidad proporcional específica según tumores malignos seleccionados.\*

| Residencia           | Total de defunciones<br>(1998-2010) | Total defunciones por tumores*<br>(1998-2010) |      |
|----------------------|-------------------------------------|---|------|
|                      |                                     | Casos   | (%)  |
| Jalisco              | 435,826                             | 333,371                                       | 7.65 |
| Ocotlán              | 5,646                               | 398   | 7.04 |
| Poncitlán            | 2,926                               | 200   | 6.83 |
| Zapotlán del Rey     | 1,000                               | 82  | 8.2  |
| I. de Los Membrillos | 1,537                               | 112   | 7.28 |
| Juanacatlán          | 735                                 | 64  | 8.70 |
| El Salto             | 5,572                               | 345   | 6.19 |
| Zapotlanejo          | 3,735                               | 320   | 8.56 |

|                      |        |       |      |
|----------------------|--------|-------|------|
| Tonalá               | 16,150 | 1,041 | 6.44 |
| Tlajomulco de Zúñiga | 8,826  | 563   | 6.37 |

\* Incluye los tumores malignos C15, C16, C18, C22, C25, C34, C50, C61, C73 y C91, de acuerdo a la CIE-10. Fuente: elaboración con datos de SINAIS 2012

## Discusión y conclusiones

En el presente estudio hicimos un análisis comparativo, geográfico y temporal, de la situación de salud en las poblaciones de los municipios que atraviesan el Río Grande de Santiago y Arroyo el Ahogado en el período de 1998 a 2010, con el fin de evaluar el comportamiento de la mortalidad por causas específicas en los municipios de Juanacatlán y El Salto. Además llevamos a cabo un análisis regional para reducir la inestabilidad de las tasas de mortalidad por causas específicas (TME), asociadas a poblaciones pequeñas como es el caso de la zona de estudio. Esta regionalización permitió el agrupamiento de municipios en función de la coincidencia de factores socioeconómicos, evaluadas mediante el IDH, y la proporción de población cercana al río, como una medida que influye en el grado de exposición a los contaminantes que transporta, según publicaciones previas.

De acuerdo con los antecedentes recabados para la presente investigación, diversas instancias han certificado la existencia de afectaciones a la salud de los pobladores de El Salto y Juanacatlán, señalando que existe una relación entre dicha situación y la contaminación del Río Grande de Santiago y Arroyo el Ahogado. Aunque realizamos una amplia recopilación de documentos que hacen referencia a los síntomas y enfermedades padecidos, sólo nos fue posible evaluar el papel de las enfermedades graves, es decir, aquellas con una mayor letalidad puesto que a nivel municipal sólo pudimos acceder a bases de datos de mortalidad y las causas de defunción. No obstante, esta limitación fue reducida al utilizar la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10) que permitió ampliar la lista de enfermedades para analizar en relación con los antecedentes.

Los resultados del análisis exploratorio nos permiten conocer las causas de muerte cuya incidencia en El Salto o en Juanacatlán presentaba valores de TME superiores con respecto al resto de municipios en la zona de estudio o a los valores estatales, en algunos años. A partir de ello obtuvimos una lista de enfermedades cuyo análisis ameritaba ser más profundo para estudiar su interpretación. En este sentido, la identificación de patrones de ocurrencia es uno de los primeros pasos en la búsqueda de factores de riesgo por lo que se realizó un análisis de la situación de salud (ASIS) en los municipios de la zona de estudio en el cual encontramos que:

En el último cuatrienio del período de análisis (2007-2010), se observa una mayor tasa de mortalidad debido a diarreas y gastroenteritis de presunto origen infeccioso, enfermedad renal hipertensiva, estado asmático e insuficiencia renal no especificada en el municipio de Juanacatlán, mientras que en el municipio de El Salto observamos un incremento en las tasas de mortalidad a causa de enfermedad renal hipertensiva, insuficiencia renal crónica e insuficiencia renal no especificada, igualmente para el último cuatrienio.

En el análisis regional encontramos que la tasa de mortalidad específica estimada en el período 1998-2010 (TME<sub>98-10</sub>) por grupos de causas como a) enfermedades infecciosas intestinales, b) enfermedades hipertensivas y c) enfermedades crónicas de las vías respiratorias superiores presentó los valores más altos en los municipios de la región centro (El Salto-Juanacatlán-Ixtlahuacán de los Membrillos) y la región sureste del Río Grande de Santiago (Ocotlán).

Si tomamos en cuenta el análisis histórico de la calidad del agua en el Arroyo el Ahogado y Río Grande de Santiago, encontramos que en la sección El Ahogado se han presentado los niveles más altos de contaminación (ver Capítulo 4). En consecuencia la incidencia de enfermedades letales coincide con la zona de mayor contaminación. Aunque el tramo del Río Grande de Santiago en Ocotlán no muestra indicadores de una contaminación alta, se debe considerar que en este poblado confluye el Río Zula, que rodea al municipio por el Este, y que se ha reportado históricamente niveles altos de contaminación (Morales et al., 2009);. De los municipios indicados arriba, los municipios Juanacatlán, El Salto y Ocotlán, más del 90% de sus habitantes se encuentran asentados a menos de 5 km del Río Grande de Santiago, Arroyo El Ahogado o el Río Zula, a excepción de Ixtlahuacán de los Membrillos; las poblaciones de Ocotlán que quedan dentro del margen de 5km de distancia del Río Grande de Santiago son las mismas ubicadas a una distancia de 5 km a partir del Río Zula. De acuerdo con la literatura en donde se ha monitoreado el transporte de contaminantes desde cuerpos de agua superficiales, el riesgo relativo (OR) de sufrir afectaciones relacionadas con la exposición se incrementa cuando las poblaciones viven a menos de 5 km de los mismos. Sin embargo, deberá considerarse que esta hipótesis no necesariamente se cumple de manera directa puesto que diversos factores pueden interactuar en las rutas de exposición a los contaminantes, por ejemplo su incorporación a la cadena trófica.

La caracterización de los patrones espaciales de las causas de mortalidad o morbilidad puede ayudar a identificar factores de riesgo para comunidades que, como en este caso, se encuentran próximas a ambientes contaminados. La contaminación del agua puede provocar enfermedades infecciosas intestinales; en el 2007, en nuestro país, estos padecimientos fueron la tercera causa de muerte en niños menores de 4 años, registrando 1 465 fallecimientos<sup>77</sup>. Las enfermedades respiratorias, el asma y las alergias están asociadas con la contaminación del aire; los agentes ambientales implicados son los óxidos de nitrógeno y azufre, las partículas en suspensión, ozono, metales, compuestos orgánicos volátiles (COV) y los hidrocarburos (Vargas, 2005). La Organización Mundial de la Salud identifica que una cuarta parte de las enfermedades a nivel mundial se deben a la exposición a riesgos ambientales y que la mayor carga de mortalidad anual como consecuencia de éstas son afecciones gastrointestinales, de vías respiratorias y del sistema circulatorio (OMS 2006). El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), calculó que el porcentaje de riesgo atribuible a factores ambientales corresponde a 80-90% para el caso de las enfermedades infecciosas intestinales, 40-60% para las infecciones respiratorias agudas, 20-25% para las neoplasias malignas y entre 5-10% para las anomalías congénitas. Los factores que han sido principalmente identificados son: para el primer caso la contaminación por heces fecales en el

---

<sup>77</sup> <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/sobree explota.aspx?tema=T>

agua, la resistencia de vectores a insecticidas y las condiciones generadas por el cambio climático. En el segundo caso se atribuye a la contaminación del aire, y en el tercero y cuarto a la exposición a contaminantes químicos (PNUMA 2003). En este sentido, resulta pertinente enfocar la atención en los hallazgos del presente trabajo puesto que las principales enfermedades en la zona están asociadas a la contaminación ambiental.

Es importante señalar que los estudios basados en poblaciones pequeñas, como el presente, tienden a limitarse debido a la dificultad para analizar datos de mortalidad con un bajo número de defunciones y, derivado de ello, la dificultad para estudiar la mortalidad por enfermedades multifactoriales como ocurre con los tumores malignos con baja prevalencia, que pueden tener largos períodos de desarrollo antes de provocar el fallecimiento. En la mayoría de los casos usamos tasas crudas de mortalidad, ya que no se recomienda estandarizar por edad cuando el número de defunciones por cada subgrupo es muy bajo, pues en poblaciones pequeñas se genera una mayor inestabilidad en los resultados. Sin embargo, se corre el riesgo de no eliminar las diferencias debidas a la estructura poblacional de cada municipio. El nivel de agregación de los datos (municipal) limita también la detección de un patrón fino de ocurrencia de las enfermedades analizadas, que podría ocurrir entre la población más cercana a los cauces contaminados y la más distante.

Al margen de que en este estudio no es posible comprobar la relación directa, causa-efecto, entre la contaminación del río y los problemas de salud detectados, es claro que la zona de mayor contaminación presenta tasas de mortalidad mayores de enfermedades específicas, lo que sugiere una asociación. Con base en estudios recientes, creemos que una posible explicación es el factor de residencia en la proximidad al río. Consideramos además, que el presente trabajo puede ser la base para estudios subsecuentes que permitan identificar los factores específicos tanto ambientales como individuales, que determinen los factores de riesgo de dichas enfermedades.

Es importante señalar que cualquier estudio tanto de análisis como de intervención estará limitado si no se cuenta con la información pertinente respecto a la incidencia y prevalencia de enfermedades, además de contar con datos disponibles en mayores niveles de desagregación. Es necesario que el enfoque respecto a los aspectos de salud tenga carácter multifactorial, principalmente cuando se estudian los efectos de la contaminación ambiental en la salud. Se debe considerar la exposición múltiple a diversas emisiones, las distintas rutas de exposición, e incluso variables intrínsecas de la población, tanto de tipo biológico (factores genéticos) como socioeconómicos (acceso y calidad de los servicios de salud, calidad de la alimentación, condiciones sanitarias de la vivienda e ingreso). El conocimiento generado sobre la compleja relación entre la salud humana y el deterioro del ecosistema, particularmente debido a la contaminación, permitirá diseñar acciones para la prevención de enfermedades a través de programas de atención y gestión ambiental encaminados a la consecución de un ambiente saludable.

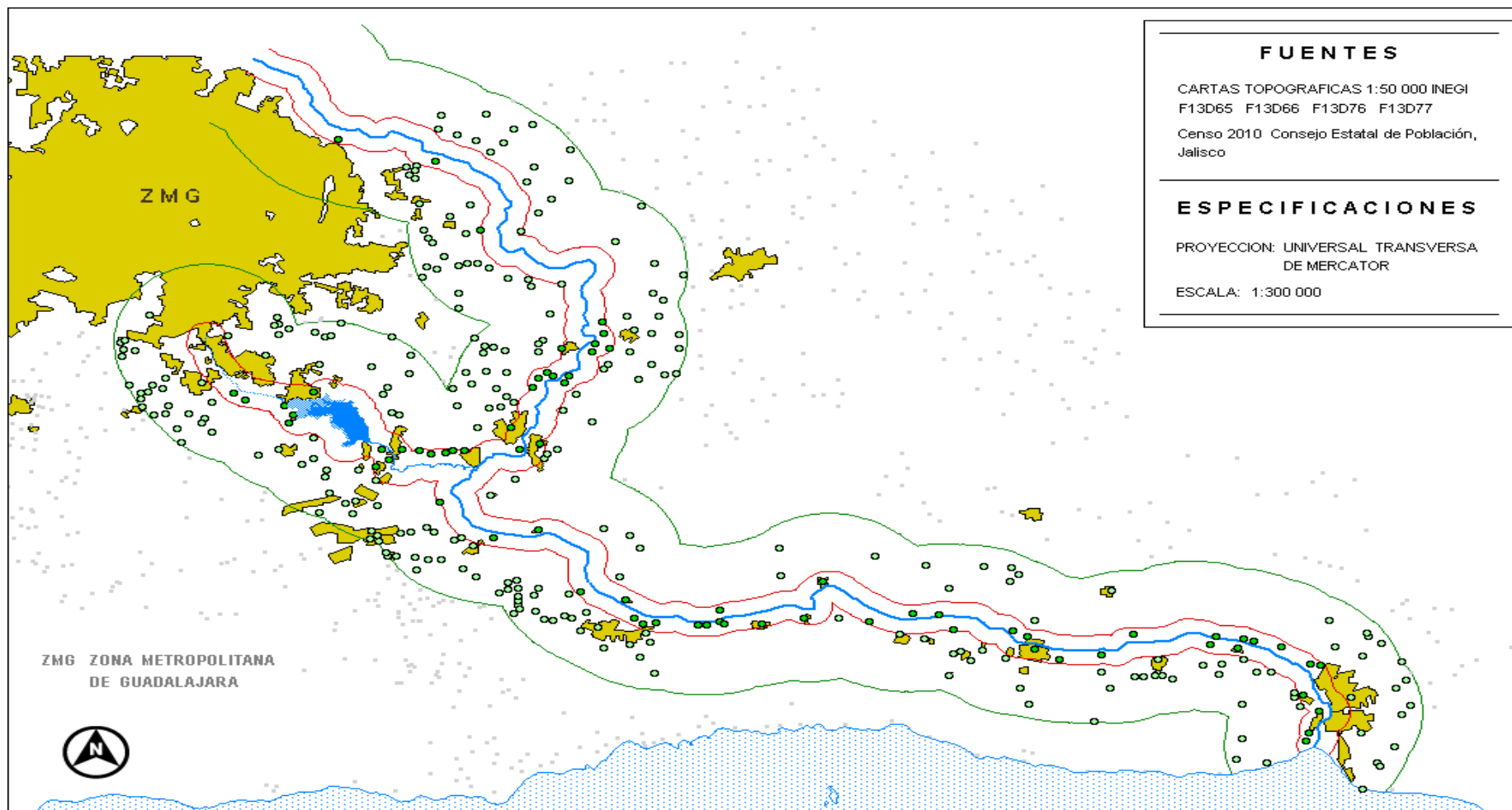
## Capítulo 7

# Conclusión general y propuesta de zonificación de riesgo

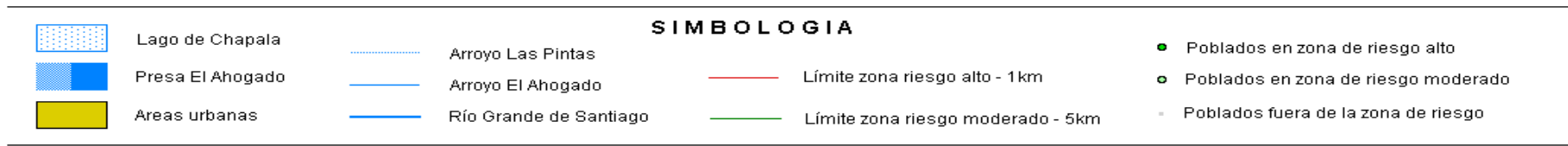
### Propuesta de zonificación

Como hemos visto en los capítulos anteriores, el Río Grande de Santiago y el arroyo y presa El Ahogado presentan una situación de fuerte contaminación. Las preguntas obligadas desde la perspectiva humana son si existe un riesgo de salud para los pobladores en la zona y si existen acciones a corto o mediano plazo que puedan detener este daño ambiental. Los habitantes de la zona pueden entrar en contacto con los contaminantes en el río por diversas vías. Aunque el río no es una fuente de abastecimiento de agua potable, el agua sí se usa para el riego de zonas agrícolas en algunos tramos. La pesca ha desaparecido prácticamente, debido a la contaminación que ha provocado la desaparición o disminución drástica de las especies de peces de la zona, incluyendo las comerciales (Un Salto de Vida, *com. pers.*). Sin embargo, en algunas localidades como la Presa Corona los habitantes locales aun practican la pesca, probablemente con fines de autoconsumo. A pesar de que el río muestra niveles de contaminación preocupantes, no existen señalamientos de advertencia en sus riberas y hay libre acceso a éste tanto para el público como para animales de granja. En la zona de la presa y arroyo El Ahogado, sitios en donde registramos los niveles más altos de contaminación, la urbanización y construcción de conjuntos habitacionales (*obs. pers.*) ha sido rápida en años recientes, lo que se traduce en un riesgo de exposición para un número creciente de personas.

Caracterizar las rutas de exposición es un problema complejo que requiere de mucha información, sobre todos si se pretende incluir una gama amplia de contaminantes, como la que existe en el Río Grande de Santiago. Este problema ocurre en muchos casos, y ha sido reportado en la literatura (Suter et al., 1999). Generalmente, los estudios que mejor caracterizan las rutas de exposición se basan en uno o pocos compuestos y fuentes de emisión (Wilkinson et al. 1997; Comba et al., 2003; Verkasalo et al., 2004). Las distancias de transporte de las distintas sustancias se pueden aproximar con base en las características fisicoquímicas de las mismas, las condiciones ambientales y a través de muestreos espaciales. En algunos casos sin embargo es necesario recurrir al criterio del investigador. Nuestra propuesta de zonificación de riesgo de ambiente-salud está basada en los trabajos de Verkasalo et al. (2004), Miller (2004), Motta et al. (2008), Guajardo y Oyana (2009) y Juang et al. (2010), cuyos resultados muestran que la contaminación de ríos por compuestos orgánicos volátiles (dicloroetano, tolueno, 1,4-diclorobenceno, xileno, entre otros), metales pesados (arsénico, cadmio, zinc, mercurio) y dibenzo-*p*-dioxinas y dibenzofuranos, pueden impactar la salud de las comunidades vecinas a una distancia de hasta 7 km (ver Capítulo 6, Tabla 6). Con base en ello, proponemos una zona de riesgo alto de exposición dentro del primer kilómetro de distancia al río en nuestra zona de estudio y una de riesgo moderado entre los 1 y 5 km (Mapa 3). Esta es una zonificación gruesa y debe entenderse como una primera aproximación,



**Mapa 3 Zonas de riesgo de exposición alto y moderado**



ya que no considera las diferentes magnitudes y tipos de compuestos químicos de las descargas, los factores que afectan la dispersión de los contaminantes, como pueden ser la orografía y el régimen de viento, ni otras particularidades del área que modificarían el límite de las zonas de riesgo. Adicionalmente, en una zonificación comprensiva se debe considerar también la distribución espacial de grupos humanos vulnerables.

La población total de los nueve municipios que constituyen la zona de estudio ascendió a un total de 1,310,415 habitantes en 2010. Dentro de la franja de riesgo alto habitaban en esta misma fecha 211,331 personas, y 469,840 dentro de la franja de riesgo moderado. Estas constituyen poblaciones que deberían ser sujeto de atención especial por las instancias de salud pública. La proporción de habitantes en riesgo, bajo el criterio de zonificación propuesto, es particularmente alta en los municipios de El Salto y Juanacatlán: 51% y 81% de su población, respectivamente, habitan a menos de 1 km de distancia del río; y prácticamente el 100% de sus habitantes viven a menos de 5 km. A estos dos municipios les siguen Poncitlán (65.5% a 5 km), Ixtlahuacán de los Membrillos (59.4%) y Zapotlán del Rey (44.7%). En el resto de los municipios menos del 20% de la población vive dentro de la franja de 5 km de distancia al río. Esta propuesta de zonificación podría ser retomada para estudios epidemiológicos en el área que tuvieran como fin vincular condiciones variantes de exposición con datos clínicos de los habitantes (metabolitos de contaminantes específicos presentes en el río, por ejemplo) recabados de primera mano. Por otro lado, resultaría de interés contrastar esta propuesta con una similar pero referida a los contaminantes atmosféricos, bajo el supuesto de que su superposición mostraría los focos de máxima exposición global a contaminantes, y sería informativa para los estudios epidemiológicos ya mencionados.

## **Conclusiones y discusión general**

Aunque existen estudios previos respecto de la contaminación acuática en la zona de estudio, el presente trabajo tiene un carácter comprensivo del que carecen los anteriores, tanto espacial como temporalmente. Adicionalmente es el único trabajo que ha buscado los nexos entre la contaminación ambiental y salud humana. Este trabajo puede ser visto como el punto de partida de estudios posteriores que exploren la causalidad entre contaminación y afección a la salud de manera más profunda. Es previsible que la incidencia de enfermedades y padecimientos ocasionados por la exposición ambiental a contaminantes se incremente los próximos años y décadas, sobre todo si no se toman medidas de regulación adecuadas al respecto, dado que tanto la producción industrial como la población van en aumento a nivel mundial. El caso del Río Grande de Santiago es sintomático de un problema a escala nacional, siendo otros ejemplos el Río Atoyac (Puebla-Tlaxcala), Río Coatzacoalcos (Veracruz), Río Lerma (Guanajuato), y el Río Bravo (Coahuila), entre otros.

Muchos de los contaminantes considerados en este trabajo se encuentran en concentraciones que rebasan los límites establecidos para la protección de la vida acuática, en

ocasiones por un amplio margen, mismo que ha reportado Hansen y González-Márquez 2010 y los informes técnicos de la CEA Jalisco. Aunque el monitoreo de calidad de agua que se ha puesto en marcha a partir de la declaratoria del Polígono de Fragilidad Ambiental en la zona, es un primer paso importante en términos de política ambiental, aún se carecen de una interpretación de los datos generados. En este sentido, en este reporte hemos generado una cartografía que permite visualizar fácilmente el comportamiento espacial de las concentraciones de contaminantes y parámetros de calidad de agua. Como se ha señalado en trabajos como el de la consultoría ambiental AYMA (2003) y Durán y Torres (2009), resulta evidente que la zona de mayor concentración de contaminantes en el área de estudio es la Presa y Arroyo El Ahogado, y de manera secundaria focos sobre el río en la zona de Ocotlán, Miraflores y El Salto. Históricamente, se puede observar una tendencia preocupante de aumento en los niveles promedio de muchos contaminantes en los últimos años. Al problema de contaminación industrial se suman las descargas de aguas residuales de origen municipal y agropecuario, así como las escorrentías de los lixiviados de los basureros municipales que han rebasado la capacidad de amortiguamiento del río (Bernache, 2009). La ubicación geográfica de las descargas municipales con mayor volumen de la Zona Metropolitana de Guadalajara en particular, permite identificar fuentes de contaminación y posibles focos infecciosos fuera de la zona de estudio. Como agravante final, la modificación hidrológica del río ha disminuido dramáticamente su capacidad de autodepuración; que se puede esperar disminuya aun más con la construcción de la Presa “El Purgatorio-Arcediano”.

De acuerdo con Durán y Torres (2009), en la zona de estudio se concentra el 70% de la industria instalada en el estado de Jalisco lo que hace suponer una gran cantidad de emisiones y transferencias de sustancias químicas en la región. Aunque el RETC es una herramienta fundamental en la política ambiental, en su presente forma resulta insuficiente y poco eficaz en la protección al ambiente puesto que en este estudio nos encontramos con bases de datos inconsistentes. En primer lugar se debe aumentar el espectro de sustancias, y se deben fijar límites de observancia estricta que se traduzcan en una mejora en la calidad de agua. Además el reporte debe ser de carácter obligatorio. No sólo debe de ser regulado el volumen de descarga anual de las industrias como se contempla en el RETC, sino que deben ser vigiladas también las concentraciones de las descargas de acuerdo a lo fijado en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

La exploración de los vínculos entre la contaminación y la salud humana en este trabajo se vio limitada y dificultada por la falta de datos de morbilidad a nivel municipal o más fino (p. ej. por ciudad o código postal). Lo anterior nos obligo a utilizar los datos de mortandad a nivel municipal, lo que se tradujo en un análisis grueso y que posiblemente subestima la incidencia de las enfermedades asociables a contaminación ambiental en la zona. Aun con esta limitante, pudimos detectar tasas altas de mortandad por enfermedades asociadas a contaminación ambiental en los municipios de Ocotlán, Juanacatlán y El Salto, donde coinciden los niveles más altos de contaminación con los porcentajes mayores de población municipal cercana al río. Esta asociación sugiere una conexión entre la contaminación en el Río Grande de Santiago y los padecimientos de los pobladores de sus riberas, es decir, una situación de riesgo ambiental y de salud (ver Capítulo

6). Resulta por lo tanto deseable desacelerar el desarrollo de tipo habitacional actualmente en marcha en la zona, al menos mientras no se reviertan las tendencias de deterioro en la calidad del agua. Cualquier intento o esfuerzo por remediar o restaurar el ecosistema del río, resultará infructuoso mientras no se disminuya las descargas de contaminantes a niveles que permitan el restablecimiento de la estructura y función del ecosistema acuático. Es imperativo que las acciones de remediación deban basarse en restituir los servicios ambientales en función de indicadores ecológicos y sociales. Además, el proceso deberá considerar a todas las especies y niveles de organización ecológica que puedan ser usados tanto para la remediación como para la implementación del monitoreo. El objetivo último de la remediación o recuperación deberá proteger tanto la salud como la integridad ecosistema afectado (Reagan, 2000).

## Recomendaciones generales

Con base en la literatura consultada, el desarrollo del estudio y los resultados alcanzados, emitimos algunas recomendaciones para la zona de estudio:

- Para resolver el problema de contaminación es necesario reducir significativamente la descarga de contaminantes al río. Asimismo, favorecer los procesos de depuración naturales del río por lo que se debe evitar la construcción de diques o presas que reduzcan el flujo y dinámica natural.
- Recomendamos mantener el monitoreo de calidad del agua del Río Grande de Santiago para poder contar con indicadores que permitan evaluar el grado de contaminación y su comportamiento a través del tiempo. Sin embargo, esta actividad resulta insuficiente si no existe un procesamiento e interpretación de los datos generados. Además se debería implementar un biomonitoreo mediante especies centinelas para evaluar el impacto de la contaminación en la diversidad biológica en la zona.
- Es necesario fortalecer el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), ampliando el espectro de sustancias químicas contempladas y, de ser posible darle un carácter vinculante en términos legales. Esto implica un mayor control sobre las descargas de sustancias reguladas y en su caso penalizaciones.
- Es deseable realizar estudios que caractericen las rutas de exposición a través de las cuales las comunidades ribereñas pueden entrar en contacto con los contaminantes.
- Para caracterizar el vínculo entre contaminación y salud en la zona es necesario generar y hacer públicas bases de datos con información detallada de morbilidad, a escalas geográficas por debajo de la municipal.
- Se debe facilitar la comunicación y transparencia de la problemática entre los actores involucrados. Particularmente, las comunidades locales deberán tener acceso a información que les permita tomar decisiones informadas en beneficio de su bienestar.

- La comunicación de riesgo es básica para prevenir el riesgo de exposición. Es necesario implementar acciones preventivas que podrían partir de la señalización y habilitación de barreras de protección para evitar el ingreso de personas y animales de granja a las zonas de mayor concentración de contaminantes. Se deberá implementar campañas informativas para la prevención de enfermedades y actividades que conduzcan a un riesgo de exposición.
- Encontramos que, paradójicamente, la zona de mayor riesgo de exposición a contaminantes se ha urbanizado rápidamente. Esta zona incluye a las poblaciones de San José El Quince, San José El Verde, El Refugio, Zapote del Valle, San José del Castillo, La Alameda, varios nuevos fraccionamientos colindantes con la Presa El Ahogado y el fraccionamiento de La Azucena. Sería deseable desacelerar esta tendencia y elaborar y seguir un ordenamiento territorial en función de estudios de evaluación de riesgo ambiente-salud.
- Es recomendable implementar acciones de restauración de la vegetación riparia para reducir la contaminación difusa en el cauce del río.

## Referencias

- Abraham, W. 2011. Megacities as sources for pathogenic bacteria in rivers and their fate downstream. *Int. J. Microbiol.* doi:10.1155/2011/798292.
- Álvarez, A. y A. Trento. 2004. Transporte de metales pesados en cursos fluviales. En: *Mecánica Computacional*. G.Buscaglia, E.Dari, O.Zamonsky (Eds.). Argentina. pp: 1151-1165.
- Aparicio J. 2001. Hydrology of the Lerma- Chapala watershed. En: *The Lerma-Chapala Watershed, evaluation and management*. Kluwer Academic/ Plenum Publishers pp. 3-31.
- Aparicio-Llanos A., Morera Salas M. 2007. Análisis geográfico y temporal de la mortalidad evitable por cáncer cervicouterino en Costa Rica. *AMC*. 49 (3): 154-160.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 2006. Toxicological profile for Hydrogen Sulfide. U.S. Department of Health and Human Services. EUA
- ATSDR 2004. ToxFAQs Cobalto. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts33.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts33.pdf)
- ATSDR 2007b. ToxFAQs Plomo. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts13.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.pdf)
- ATSDR. 1995. ToxFAQs Antimonio. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts23.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts23.pdf)
- ATSDR. 1999. ToxFAQs Mercurio. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts46.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts46.pdf)
- ATSDR. 2005a. ToxFAQs Níquel. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts15.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts15.pdf)
- ATSDR. 2005b. ToxFAQs Zinc. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts60.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts60.pdf)
- ATSDR. 2006. ToxFAQs Ácido sulfídrico. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts114.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts114.pdf)
- ATSDR. 2006. ToxFAQs Cianuro. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts8.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts8.pdf)
- ATSDR. 2007a. ToxFAQs Arsénico. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts2.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts2.pdf)
- ATSDR. 2008a. ToxFAQs Cadmio. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts5.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts5.pdf)
- ATSDR. 2008b. ToxFAQs Cromo. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts7.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts7.pdf)
- ATSDR. 2008c. ToxFAQs Manganeso. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts151.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts151.pdf)
- ATSDR. 2008d. ToxFAQs Aluminio. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts22.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts22.pdf)
- AYMA. 2003. Ingeniería y Consultoría, Estudio de monitoreo y modelación de la calidad del agua de los Ríos Santiago y Verde del estado de Jalisco (Comisión Estatal de Agua y Saneamiento (CEAS) Jalisco.
- Bernache G. 2009. El impacto social de las operaciones del vertedero los laureles. Trabajo presentado en: II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. 24-25 de septiembre. Colombia
- Bernache, G. 2009. El impacto social de las operaciones del vertedero los laureles. Trabajo presentado en: II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. 24-25 de septiembre. Colombia.
- Borja- Aburto V. 2000. Estudios ecológicos. *Salud pública de México* 42 (6): 533-538.

- Bradbury S., Hermens J., Karcher W., Niemi G., Purdy R., Richards C. 1998. Obtaining data for ecological risk assessment. En: Ecological risk assessment decision-support system: a conceptual design. (Kevin H. Reinert et al. (Editors). SETAC press pp. 29-39.
- Butler DC., Corvalan FC., Koren SH. 2005. Human health, well-being, and global ecological scenarios. *Ecosystems* 8: 153-162.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Summary tables. Updated. In Canadian Environmental Quality Guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, 2002; 1-7.
- Carabias, J. y R. Landa. 2005. **La calidad del agua**. En: Agua, medio ambiente y sociedad: hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. UNAM-COLMEX-FUNDACIÓN GONZALO RIO ARRONTE. México. pp: 73-81
- CCA. 2011. Emisiones y transferencias de contaminantes en América del Norte. Comisión para la Cooperación Internacional, Montreal (Quebec), Canadá. 83 pp.
- CEDHJ (Comisión Estatal de Derechos Humanos de Jalisco). 2008. Síntesis del informe especial sobre la contaminación del río Santiago. Boletín núm. 42/08. Febrero 2008. México.
- CEDHJ. 2009. Recomendación 001/2009 sobre la queja 986/07/III y sus acumuladas. 27/01/2009. 275p
- CENAVECE 2012. Anuarios de morbilidad 1984-2010. <http://www.dgepi.salud.gob.mx/anuario/html/anuarios.html>
- Comba P., Ascoli V., Belli S., Benedetti M., Gatti L., Ricci P., Tieghi A. 2003. Risk of soft tissue sarcoma and residence in the neighbourhood of an incinerator of industrial wastes. *OCCUP. Environ. Med* 60: 680-683.
- CONAGUA 2011. Estadísticas de agua 2011. Comisión Nacional de Agua. México
- CONAGUA. 2008. Relación de anexos de descargas de aguas residuales en el Estado de Jalisco. Comisión Nacional del Agua. Documento en PDF. 21 pp.
- CONAPO. 2010. Principales causas de mortalidad en México, 1980-2007. Documento de Trabajo para el XLIII Período de Sesiones de la Comisión de Población y Desarrollo "Salud, morbilidad, mortalidad y desarrollo".
- Corcoran E., Nellemann C., Baker E., Bos R., Osborn D., Savelli H. (eds). 2010. Sick water? The central role of wastewater management in sustainable development. A rapid response assessment. United Nations Environment Programme, UN-HABITAT, GRID-arendal.
- Coronado-González J., Razo ML., García-Vargas G., Sanmiguel SF., Escobedo-de la Peña J. 2007. Inorganic arsenic exposure and type 2 diabetes mellitus in Mexico. *Environmental Research* 104: 383-389.
- Cotler AH. 2010. Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT.
- De La Vega SM. 2003. Situación de los peces dulceacuícolas en México. *Ciencias* No. 72.
- Del Rio J. 2010. Tratamiento de datos espaciales en la hidrología. Ed Bubok. España., pp 58
- Reagan PD. 2000. Natural remediation in the risk management process: costs, options, and monitoring. En: Natural remediation of environmental contaminants (Michael Swindoll et al., editors. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC).
- DGID del INE/ SEDESOL/ CINVESTAV-IPN (1993) Informe Técnico: Análisis cuantitativo de plaguicidas organoclorados en aguas y sedimentos del sistema hidrológico Lerma-Chapala-Santiago. Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Abril 1993.

- DGIS (Dirección General de Información en Salud). 2012. Sistema Dinámico de Información, Estadísticas en Salud. [http://pda.salud.gob.mx/cubos/Metadatos/Dat-ehosp-Descripcion\\_de\\_variables.html](http://pda.salud.gob.mx/cubos/Metadatos/Dat-ehosp-Descripcion_de_variables.html)
- Dreisbach H.R. 1983. Manual de toxicología clínica: prevención, diagnóstico y tratamiento. El Manual Moderno. México. p
- Durán M., Torres A. 2009. La sustentabilidad de la cuenca del río Santiago y su relación con la metropolización de Guadalajara. Revista de la UdeG Cultura, tecnología y patrimonio. Ene-Jun. No. 7.
- Durán M., Torres A. 2009. La sustentabilidad de la cuenca del río Santiago y su relación con la metropolización de Guadalajara. Universidad de Guadalajara. Rev Cultura, tecnología y patrimonio. Ene-Jun. No. 7
- Eggleton J., Thomas K. 2004. A review of factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediment disturbance events. Environ Int. 30(7):973-80
- Fall C. Hinojosa-Peña A., Carreño-de-Léon CM. 2007. Design of a monitoring network and assessment of the pollution on the Lerma river and its tributaries by wastewater disposal. Science of the Total Environment 373: 208-219.
- Fowler J., Cohen L., Jarvis P. 1998. Practical statistics for field biology. John Wiley & Sons., pp. 210-226
- Gallardo J. 2005. Estudio ambiental del Ácido Sulhídrico como contaminante del aire en las comunidades de Juanacatlán y El Salto, Jalisco, 2004-2005. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara. México
- Gómez E. 1993. Discriminación por sexo y sobremortalidad femenina en la niñez. En: Género, mujer y salud en las Américas. Washington, D.C.: Organización Panamericana de la Salud; (Publicación Científica No. 541).
- Goyer R., Clarkson T. 2005. Casarett y Doull, Fundamentos de Toxicología. Klaassenn y Watkins (comp). Mc Graw Hill. México. pp:354-366
- Guajardo O., Oyana JT. 2009. A critical assessment of geographic cluster of breast and lung cáncer incidences among residents living near the Tittabawassee and Saginaw rivers, Michigan, USA. Journal of Environmental and Public Health 2009; 1-16.
- Guerrero A. 2007. Salud en alumnos de la escuela primaria No. 10 y su relación con las condiciones ambientales del municipio de El Salto, Jalisco. En: Diez años de investigación en salud Ambiental desde la Universidad de Guadalajara. Garibay, M; Curiel, A; Orozco, M. y G. Hernández (eds). Universidad de Guadalajara. México. pp: 85-89
- Guzmán M., Lyons J, Los peces de las aguas continentales del estado de Jalisco, México. Análisis preliminar. e-Gnosis. 2003l. 1: 1-37
- Hansen MA., González-Marquez CL. 2010. Scenarios of metal concentrations in the Arcediano Dam (State of Jalisco, Mexico). Journal of Environmental Science and Health, Part A. 45 (1): 99-106.
- Hitt PN., Hendrix M. 2010. Ecological integrity of streams related to human cancer mortality rates. EcoHealth 7: 91-104.
- IMDEC (Instituto Mexicano de Desarrollo Comunitario). 2007. Informe sobre Violaciones al Derecho a la Salud y a un Medio Ambiente Sano en Juanacatlán y el Salto, Jalisco, México. pp
- IMTA. Informe de resultados del Monitoreo del Río Santiago y Arroyo El Ahogado (2008).
- INAFED (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal). 2012. Enciclopedia de los municipios en México, Jalisco. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/jalisco/regi.htm>

- INE/ SEDESOL/ CINVESTAV-IPN (1994) Informe Técnico: Evaluación de los posibles efectos sobre la salud, derivados de la contaminación del agua en las cuencas de cuatro ríos de la república mexicana. Centro de Investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
- INEGI. 1997. Cartas topográficas escala 1:50,000. Guadalajara Oeste, Guadalajara Este, Chapala, Ocotlán.
- INEGI. 2012. Sistema estatal y municipal de bases de datos. <http://sc.inegi.org.mx/sistemas/cobdem/consulta-por-geo.jsp?recargar=true>
- Juang D., Lee, C; Chen, W. y C. Yuan. 2010. Do the VOCs that evaporate from a heavily polluted river threaten the health of riparian residents? *Sci. Total Environ.* 408(20):4524-31.
- Juang D., Yuan, C., Hsueh, S., L. Chiou. 2009. Distribution of volatile organic compounds around a polluted river. *Int J Environ Sci Tech.* 6 (1): 91-104.
- Koren SH., Crawford-Brown D. 2004. A framework for the integration of ecosystem and human health in public policy: two case studies with infectious agent. *Environmental Research* 95: 92-105.
- Ley Federal de Derechos. Disposiciones aplicables en material de aguas nacionales 2009. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- Lipton J., Cacela D., Cowan C., deFur P., Gizburg L., Mebane C. 1998. Risk characterization. En: *Ecological risk assessment decision-support system: a conceptual design.* (Kevin H. Reinert et al. (Editors). SETAC press pp.21-29.
- López F., Ortega J. 2008. Detección de cluster espaciales de cáncer pediátrico en los municipios de la Región de Murcia. XVI Jornadas ASEPUMA – IV Encuentro Internacional Rect@2008. Vol Actas 16 (1): 1-11. Disponible en: <http://metodos.upct.es/asepuma/comunicaciones/completas/303.pdf>
- Lyons J., Gonzalez-Hernandez G., Soto-Galera E., Guzman-Arroyo M. Decline of freshwater fishes and fisheries in selected drainages of west-central Mexico. *Fisheries.* 1998. 23(4): 10-18.
- MacCulling DB., Páez VJ., Moya GG. 2007. Mártires del Río Santiago. Informe de violaciones al derecho a la salud y un medio ambiente sano en Juanacatlán y El Salto, Jalisco México.
- McCulligh C. 2010. Aguas abajo o respirar veneno en Juanacatlán y El Salto, Jalisco. Estudios de la cuenca del río Santiago. Un enfoque multidisciplinario. Peniche, S. y M. Guzmán (comp.). Universidad de Guadalajara. México. pp: 59-72.
- McKenzie A. 2005. Mathematics and statistics for life scientists. Taylor & Francis., pp. 169-171
- Miller J., Hudson-Edwards K., Lechler P., Preston D., Macklin M. 2004. Heavy metal contamination of water, soil and produce within riverine communities of the Río Pilcomayo basin, Bolivia. *Sci. Total Environ.* 320(2-3):189-209.
- Miller RR. 2005. Freshwater fishes of México. The University of Chicago Press. 490 pp.
- Molina, R; Velázquez, R. y J. Rodríguez. Desarrollo Económico y Salud. *Salud Pública Mex.* 1991. 33(3):227-234
- Montero R, Serrano L, Araujo A, Dávila V, Ponce J, Camacho R, Morales E y Méndez A. 2006. Increased cytogenetic damage in a zone in transition from agricultural to industrial use: comprehensive analysis of the micronucleus test in peripheral blood lymphocytes. *Mutagenesis* 21(5): 335-342.
- Moore NM., Kempton DP. 2009. A synopsis of the joint environment and human health programme in the UK. *Environmental Health* 8: 1-8.

- Mora DR., Cisneros JB., Muchel KE., AustriaMP., Cedillo MJL., Viqueira PJ., Calleros RA., Monjardín RC., Martelo ZE. 2012. Los recursos hídricos en México. En: Diagnóstico del agua en las Américas (Blanca Jiménez Cisneros y José Galizia Tundisi (coordinadores). Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC.
- Moreno Grau, Ma. Dolores. 2003. Toxicología Ambiental. McGraw-Hill, Madrid, España. 370 pp
- Moreno M. 2003. Toxicología ambiental. McGraw-Hill. España.
- Moreno-Altamirano A., López-Moreno S., Corcho-Berdugo A. 2000. Principales medidas en epidemiología. Salud Pública de México 42(4): 337-348.
- Morgenstern H. 1982. Uses of ecologic analysis in epidemiologic research. American Journal of Public Health 72 (12): 1336-1344.
- Motta O., Capunzo F., Caro De F., Brunetti L., Santoro E., Farina A., Proto A. 2008. New approach for evaluating the public health risk of living near a polluted river. J. Prev. Med. Hyg. 49: 79-88.
- Noori R., Sabahi SM., Karbassi RA., Baghvand A., Zadeh TH. 2010. Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set. Desalination 260: 129- 136.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2012. Water sanitation health. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/resources/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/es/)
- OPS . 2003. Actualización de la Clasificación Internacional de Enfermedades, Décima Revisión. Boletín Epidemiológico. Vol. 24. Núm. 2
- OPS-OMS. 2007. La salud en las Américas. <http://www.paho.org/hia/home.htm>
- Ouyang Y., Nkedi-Kizza P., Wu TQ., Shinde D., Huang HC. 2006. Assessment of seasonal variation in surface water quality. Water Research. 40(29): 3800-3810
- Palacios-Nava M. 2011. Estudios ecológicos. En: Epidemiología y Estadística en Salud Pública. Villa-Romero, A; Moreno-Altamirano, L. y G. García-de la Torre (Comp). Universidad Nacional Autónoma de México. McGraw-Hill Editores. México
- Palos H., Sánchez J. Gómez S. 2006. Educación ambiental, participación comunitaria y desarrollo sustentable: los casos de los municipios de Juanacatlán y El Salto, Jalisco. Rev Mercados y Negocios. Jul-Dic. 7 (14): 4-20.
- Parra J. 2006. Signos, síntomas y concentraciones de tiosulfatos urinarios asociados a exposición al ácido sulfhídrico, como principal contaminante atmosférico, en niños escolares de la localidad de Juanacatlán y El Salto. Tesis de especialidad médica. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Plan Municipal de Desarrollo 2010-2012. El Salto, Gobierno Municipal.
- PNUD (Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo). 2009. Informe sobre Desarrollo Humano Jalisco 2009, capacidades institucionales para el desarrollo humano local.
- PNUD. 2012. Consulta de estadísticas Índice de Desarrollo Humano. [http://www.undp.org.mx/spip.php?page=area\\_interior&id\\_rubrique=125&id\\_article=1482&id\\_parent=119](http://www.undp.org.mx/spip.php?page=area_interior&id_rubrique=125&id_article=1482&id_parent=119)
- PNUMA. 2003. GEO América Latina y el Caribe, Perspectivas del medio ambiente. Oficina regional para América Latina y el Caribe. Costa Rica. pp 277.
- Puentes-Rosas E., Sesma S., Gómez-Dantés O. 2005. Estimación de la población con seguro de salud en México mediante una encuesta nacional. Salud Pública Méx. 47(1):22-26.

- Red Interamericana de Academias de Ciencias y Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC. 2012. Diagnóstico del Agua en Las Américas. FCCyT, México DF. 447 pp.
- Reinert HK., Bartell MS., Biddinger G. 1998. Ecological risk assessment decision-support system: a conceptual design. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC).
- Rodríguez J., Cota M. 2006. Desarrollo del Parque Industrial El Salto, Jalisco. Brazilian Journal of Latin American Studies 5(2): 83-104.
- Rodríguez-Díaz J., Querales L., Caraballo L., Vizzi E., Liprandi F., Takiff H., Betancourt W. 2009. Detection and characterization of waterborne gastroenteritis viruses in urban sewage and sewage-polluted river waters in Caracas, Venezuela. Appl Environ Microbiol. 75(2):387-94.
- Schneider M., Castillo-Salgado C., Bacallao J., Loyola E., Mujica O., Vidaurre M., Roca A. 2002. Métodos de medición de las desigualdades de salud. Pan. Am. J. Public. Health 12(6): 398-415.
- SEMARNAT. 2008. Informe Nacional de Emisiones y Transferencias de Contaminantes RETC 2005. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México DF. 88 pp.
- SEMARNAT. Sitio en *internet*: <http://app1.semarnat.gob.mx/retc/retc10pre/retc10/consulta.php?enfe=14&muni=14070&sect=02&anio=2010&ncas=71-43-2&tipb=0>
- SEMARNAT. Sitio en *internet*: <http://www.semarnat.gob.mx/TEMAS/GESTIONAMBIENTAL/CALIDADDELAIRE/Paginas/retc.aspx>. Consultado el 20 de marzo de 2012
- Servicio Meteorológico Nacional. [www.smn.cna.gob.mx/](http://www.smn.cna.gob.mx/)
- SIGA (Sistema de Información Geográfica Ambiental). 2012. Diagnóstico de los subsistemas: Medio físico, Agua. En: Modelo de Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Jalisco. <http://siga.jalisco.gob.mx/moet/>.
- SINAIS. 2012. Consulta de información en bases de datos en formato de cubo dinámico. <http://www.sinais.salud.gob.mx/basesdedatos/cubos.html>
- Singh, K; Mohan, D; Sinha; S. y R. Dalwani. Impact assessment of treated/untreated wastewater toxicants discharged by sewage treatment plants on health, agricultural, and environmental quality in the wastewater disposal area. Chemosphere. 2004. 55(2):227-55.
- SNIM (Sistema Nacional de Información Municipal). 2012. <http://www.snim.rami.gob.mx/>
- Speelmans M., Vanthuyne D., Lock K., Hendrickx F., Du L., Tack F., Janssen C. 2007. Influence of flooding, salinity and inundation time on the bioavailability of metals in wetlands. Sci. Total Environ. 380 (1-3):144-53.
- SSS (Superintendencia de Servicios de Salud de Argentina). 2012. Clasificación Internacional de Enfermedades CIE 10° REVISION. [www.sssalud.gov.ar/hospitales/archivos/cie\\_10\\_revi.pdf](http://www.sssalud.gov.ar/hospitales/archivos/cie_10_revi.pdf).
- Suter II WG., Cormier MS. 2008. A theory of practice for environmental assessment. Int. Environ. Assess. Manag. 4: 478-485.
- Suter BL., Antcliffe W., Davis S., Dyer J., Gerritsen G., Linder K., Munkittrick ER. 1999. Conceptual approaches to identify and assess multiple stressors. En: Multiple Stressors in Ecological Risk and Impact Assessment. Jeffery A. Foran and Susan A. Ferenc. SETAC press. EUA. 1-25.
- Swindoll M., Stahl RG., Ells SJ. 2000. Natural remediation of environmental contaminants: its role in ecological risk assessment and risk management. SETAC Press. EUA. 455pp

- TLA (Tribunal Latinoamericano del Agua). 2007. Veredicto de la audiencia pública nacional en el caso: Deterioro y Contaminación del Río Santiago, Municipios de El Salto y Juanacatlán, Estado de Jalisco, República Mexicana. Audiencia Pública. Guadalajara, México.
- Toledo A. 2003. Ríos, costas, mares. Hacia un análisis de las regiones hidrológicas de México, Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT, México.
- Toledo MV. 2011. Batallas socio-ambientales en territorios de México. Foro Nacional para la regeneración socio-ambiental, Cuetzalan, Puebla.
- Toledo V. 2011. Batallas socio-ambientales en territorios de México. Foro Nacional para la Regeneración Socio-Ambiental, Cuetzalan, Puebla, marzo 21.
- UNEP/UNESCO. 2008. Water quality for ecosystem and human health. 2ª ed. Canadá.
- Van Leeuwen C., Biddinger G., Gess D., Moore D., Natan T., Winkelman D. 1998. Problem formulation. En: Ecological risk assessment decision-support system: a conceptual design. (Kevin H. Reinert et al. (Editors). SETAC press pp.7-15.
- Vargas F. La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. Rev. Esp. Salud Publica. 2005. 79(2):117-127.
- Walker HC., Hopkin PS., Sibly MR., Peakall BD. 2006. Principles of ecotoxicology. Taylor & Francis.
- WHO (World Health Organization). 2000. WHO air quality guidelines for Europe. <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/who-air-quality-guidelines-for-europe,-2nd-edition,-2000-cd-rom-version>.
- WHO (World Health Organization). HYDROGEN SULFIDE: HUMAN HEALTH ASPECTS. Concise International Chemical Assessment Document 53. 2003.
- Wilkinson P., Thakrar B., Stevenson S., Pattenden S., Landon M., Grundy C., Elliott P. 1997. Cancer incidence and mortality around the Pan Britannica Industries pesticide factory, Waltham Abbey. Occup. Environ. Med. 54: 101-107.
- Yin Y., Allen E.H. (2000) Natural remediation of metals. En: Natural remediation of environmental contaminants: its role in ecological risk assessment and risk management. Michael Swindoll, Ralph Stahl & Stephen Ells (Eds.) SETAC publications., pp. 247-272.

**México D.F. Julio 2012**