



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**ANÁLISIS DE LAS ENFERMEDADES ASOCIADAS A LA
CONTAMINACIÓN DEL RÍO GRANDE DE SANTIAGO,
JALISCO, MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

CLAUDIA EDITH CÁRDENAS HERNÁNDEZ



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. RODOLFO OMAR ARELLANO AGUILAR**

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*Sólo con una ardiente paciencia conquistaremos la
espléndida ciudad que dará luz, justicia, dignidad a
todos los hombres.*

Así la poesía no habrá cantado en vano.

Pablo Neruda.

*Discurso de Estocolmo con ocasión de la entrega
del Premio Nobel de Literatura.*

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Claudia y Francisco, por su apoyo, por siempre retarme a hacer las cosas mejor, a ser una mejor persona, por acompañarme en el camino y ser un gran ejemplo.

A mis hermanos, especialmente a María por los buenos y malos momentos, en los que a pesar de cualquier circunstancia aprendimos a salir adelante juntas, por las charlas de cada día, por las "luchas" en las que terminamos llorando de risa. Gracias por siempre creer en mí.

A mi mejor amiga Itzel, gracias por esta década de amistad, por la confianza, por enseñarme que siempre se puede ser un poco más fuerte, un poco más valiente, un poco mejor cada día, por los incontables momentos de risas, por crecer junto a mí.

A mi nina Lu y a mi abuelita Basi, por su cariño y cuidados, por ser para mí un ejemplo de fortaleza.

Al taller AISSA y a mi tutor Omar Arellano-Aguilar, por su amistad y orientación durante el desarrollo de este trabajo.

Esta tesis forma parte del taller de Análisis Integral de Sistemas Socio Ambientales (AISSA), integrado por Dr. Luis Zambrano González, Dra. Ma. Fernanda Figueroa Díaz Escobar, Dra. Mariana Benítez Keinrad, Dra. Ana Laura Wegier, Dr. Fernando Córdova Tapia y Dr. Omar Arellano-Aguilar.

RESUMEN

Actualmente la contaminación ambiental es la principal causa de muerte prematura en el mundo. En el caso de México, uno de los sitios más contaminados se ubica en la cuenca Santiago-Guadalajara, en donde el Río Grande de Santiago es receptor de los desechos provenientes de la zona metropolitana de Guadalajara, además de los vertidos por las múltiples industrias establecidas en la zona desde hace varias décadas. Dichas industrias han afectado gravemente al ecosistema, al tiempo que han modificado la dinámica del río. Aunado a lo anterior, en los últimos quince años, los habitantes del sitio han denunciado, en diversos medios e instituciones a nivel nacional e internacional, graves afectaciones a su salud. El objetivo de este trabajo fue analizar las tendencias de mortalidad en los municipios aledaños al Río Grande de Santiago, para determinar si existe una asociación entre los niveles de contaminación y la salud. La zona de estudio comprende nueve municipios, que abarcan desde el lago de Chapala, hasta la Zona Metropolitana de Guadalajara. Dichos municipios presentan un alto índice de desarrollo y un índice bajo de marginación. Esta investigación se desarrolló en tres etapas; para cada una de ellas se utilizaron datos oficiales. En primer lugar, para conocer las sustancias emitidas al ambiente se consultó el Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (SEMARNAT) y el Sistema de Información Empresarial (Secretaría de Economía). En la segunda parte, se analizó la calidad de agua del río a partir los datos del monitoreo realizado por la Comisión Estatal del Agua de Jalisco, durante el periodo 2009-2015. Por último, se obtuvo el número de defunciones por causa específica del Sistema Nacional de Información en Salud, de la Secretaría de Salud y las proyecciones de población de los municipios de estudio, realizadas por CONAPO (1995 a 2010 y 2010 a 2030). Con estos datos, se calcularon las tasas de mortalidad por causa específica (TME), estándar y ajustada, para cinco grupos de enfermedades: 1) gastrointestinales, 2) cáncer, 3) enfermedades respiratorias, 4) púrpura y otras enfermedades hemorrágicas y 5) insuficiencia renal. Finalmente, para conocer el comportamiento de la mortalidad por enfermedades asociadas a sitios contaminados se realizó un análisis espacial. Los resultados obtenidos incluyen el reporte de 38 sustancias emitidas al ambiente en la zona de estudio, de las cuales nueve están clasificadas como potencialmente cancerígenas para el humano y 11 como posiblemente cancerígenas. En cuanto a la calidad de agua, el oxígeno disuelto y

la demanda bioquímica de oxígeno han aumentado desde 2012, manteniéndose dentro de los límites establecidos en la legislación mexicana; no obstante, la demanda química de oxígeno se ha mantenido muy por arriba del límite máximo permitido. Las TME muestran que no hay claras tendencias de mortalidad. Sin embargo, los municipios que han tenido un mayor desarrollo industrial a través del tiempo (Ocotlán, El Salto, Tlajomulco de Zúñiga y Tonalá) son también los que presentan las mayores tasas de mortalidad por enfermedades asociadas con la contaminación. En conclusión, no se obtuvieron tendencias claras de mortalidad; sin embargo, existe similitud entre los municipios en donde históricamente se ha dado mayor desarrollo industrial y en donde se concentran las mayores tasas de mortalidad por enfermedades gastrointestinales, cáncer, enfermedades respiratorias e insuficiencia renal, debido a que en estos sitios se concentra la mayor cantidad de emisión y diversidad de contaminantes al agua, aire y suelo.

ÍNDICE

Resumen.....	5
Introducción	7
Socio-ecosistemas	7
Relación salud-ambiente	8
Los ríos como receptores de desechos	10
Pérdida de la integridad ecosistémica y sus efectos en la salud.....	11
Antecedentes	12
Pregunta de investigación	19
Objetivos	19
Objetivo general	19
Objetivos particulares.....	19
Método	19
Zona de estudio	19
Colecta de datos.....	8
Resultados	11
Contaminantes ambientales.....	11
Calidad del agua.....	15
Mortalidad por enfermedades asociadas a la contaminación ambiental	19
Discusión.....	35
Conclusión	47
Bibliografía	48
Anexo 1A.	55
Anexo 1B.	57
Anexo 2.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Factores determinantes de la salud. Modificado de OPS (2007).	8
Figura 2. Estimaciones globales de muertes por las principales causas y factores de riesgo. Modificada de Landringan, et al., (2017).	10
Figura 3. Mapa de la zona de estudio, elaboración propia a partir del Mapa de límites municipales (INEGI 2012), del Mapa de límites estatales (INEGI 2015) y del Agua Servicio de Mapa (SEMARNAT, 2016).	7
Figura 4. Porcentaje de población afiliada a algún sistema de salud. Elaborada con base en lo reportado por el IIGE Jalisco, 2017.	7
Figura 5. Principales sustancias emitidas al ambiente durante el periodo 2004-2014. Nota: Las cantidades se muestran en Log10	13
Figura 6. Giro comercial de las empresas establecidas en los nueve municipios de estudio; se muestra el número de empresas por cada giro y su porcentaje, respecto al total existente en la zona contemplada en este trabajo. De elaboración propia con base en lo reportado en el SIEM en agosto de 2016.	14
Figura 7. Comportamiento del Oxígeno Disuelto en río Santiago (2009 a 2015).	15
Figura 8. . Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en río Santiago (2009-2015).	16
Figura 9. Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno en la zona de estudio (2009-2015).	17
Figura 10.. Concentraciones de metales pesados durante 2013 en los municipios de estudio (2009-2015).	18
Figura 11. Tasas de mortalidad por causa específica (TME) por enfermedades gastrointestinales, de 1998 a 2015.	20
Figura 12. Tasas de mortalidad por causa específica (TME) por catorce tipos de cáncer de 1998 a 2015.	23
Figura 13. Tasas de mortalidad por causa específica (TME) por enfermedades respiratorias de 1998 a 2015.	25
Figura 14. Tasas de mortalidad por causa específica (TME) por insuficiencia renal (aguda, crónica y no especificada), de 1998 a 2015.	27
Figura 15. Proporción de defunciones por enfermedades asociadas a contaminación en la zona de estudio. De elaboración propia con base en las tasas de mortalidad por causa específica obtenidas en este trabajo.	28
Figura 16. Tasas ajustadas de mortalidad por causa específica (TME), por enfermedades gastrointestinales 1998-2015.	29
Figura 17. Tasas de mortalidad por causa específica (TME) ajustadas, por 14 tipos de cáncer de 1998 a 2015. .	30
Figura 18. Tasas de mortalidad por causa específica (TME) ajustadas, por enfermedades respiratorias de 1998 a 2015.	31
Figura 19. Tasas de mortalidad por causa específica (TME) ajustadas, por enfermedades respiratorias de 1998 a 2015.	32
Figura 20. Mortalidad por enfermedades asociadas a sitios contaminados, en cuatro años específicos	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descargas de aguas residuales a los cuerpos de agua nacionales. Fuente CONAGUA (2015).....	12
Tabla 2. Resultados obtenidos en el primer estudio epidemiológico realizado en una población aledaña al río Santiago.....	14
Tabla 3. Evaluación de diferentes parámetros de calidad del agua en río Santiago.	16
Tabla 4. Población de la zona de estudio en 2015.....	7
Tabla 5. Giros comerciales de las empresas ubicadas en la zona de estudio.....	8
Tabla 6. Registro de emisiones en los municipios de la zona de estudio	11
Tabla 7. Contaminantes (reportados) emitidos al ambiente en la zona de estudio durante el periodo de 2004 a 2014.	12
Tabla 8. Tipos de industrias que reportan emisiones en el RETC.....	13
Tabla 9. Principales sustancias emitidas al ambiente en el municipio de El Salto de 2004 a 2014.	13
Tabla 10. Porcentaje de giros empresariales registrados en los municipios de estudio.....	14
Tabla 11. Límites máximos permitidos de metales en aguas residuales para la protección de la vida acuática ...	18
Tabla 12. Tipos de cáncer seleccionados en este trabajo.....	22
Tabla 13. Clasificación de acuerdo con la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer.	36
Tabla 14. Características de los municipios con mayor mortalidad asociada a sitios contaminados.	40
Tabla 15. Enfermedades asociadas a sitios contaminados.....	55
Tabla 16. Patologías asociadas a sitios con altos índices de contaminación, en donde la ruta de exposición es directa.	57
Tabla 17. Efectos adversos a la salud, por exposición a metales pesados.	58

INTRODUCCIÓN

SOCIO-ECOSISTEMAS

Actualmente, el planeta se encuentra en una crisis ambiental, la cual está íntimamente relacionada con los procesos de producción, acumulación capitalista y desarrollo tecnológico (Ortega et al., 2014). Los problemas se han vuelto cada vez más complejos y difíciles de afrontar. La integración del vínculo existente entre los seres humanos y el entorno que los rodea, en diferentes escalas temporales y espaciales, se ha vuelto necesaria en los estudios ambientales, para así poder abordar la problemática contemplando a los sistemas sociales como parte constitutiva e inseparable del entorno natural (Ortega et al., 2014; Roa y Pescador, 2016), es decir, como sistemas socioecológicos. Éstos se componen de múltiples subsistemas en los cuales interactúan diferentes variables en distintos niveles; dicha interconexión puede darse en distintas escalas espaciales y temporales (Ostrom, 2009), de tal forma que las afectaciones en alguno de los procesos del sistema se ven reflejados en el resto del mismo.

Uno de los componentes de los socio-ecosistemas es la salud, la cual está determinada por factores estructurales, los cuales engloban condiciones sociales, económicas, políticas, ambientales, tecnológicas y biológicas; además de factores intermedios, mismos que incluyen condiciones de vida inadecuadas para el óptimo desarrollo personal y riesgos ambientales. Dichos factores se encuentran conectados entre sí y dan como resultado cambios que, a lo largo del tiempo, se ven reflejados en la esperanza de vida, la morbilidad y la mortalidad de las poblaciones (OPS, 2007; Fig. 1). Hoy en día, se sabe que los contaminantes tienen graves efectos en la salud y en los ecosistemas (Genc y Yilmaz, 2018), por lo cual, la contaminación ya no se puede ver como un problema ambiental aislado, pues se trata de un problema trascendente que afecta la salud y el bienestar de sociedades (Landrigan et al., 2017) y ecosistemas completos.

Debido a la forma en que los factores ambientales inciden en la salud, los estudios actuales están cambiando sus modelos de riesgo (Roa y Pescador, 2016). Por lo ejemplo, los análisis de la dinámica del cambio espacial y temporal de la morbilidad y la mortalidad, permiten reconocer situaciones que se presentan en ciertos lugares y que demandan atención inmediata (Jiménez et al., 2010); dichos análisis se realizan a través de la epidemiología, pues ésta se ha convertido en una herramienta de importancia en el estudio de la relación salud-ambiente, ya que posibilita procesos de investigación dirigidos a identificar factores de riesgo ambiental, a elaborar diagnósticos de salud poblacional, a cuantificar el impacto sobre los ecosistemas y a evaluar intervenciones destinadas, tanto a controlar como a reducir

las secuelas del daño de los socio-ecosistemas (Montoya et al., 2009). A su vez, esta rama del conocimiento utiliza el mapeo de enfermedades para identificar grupos de enfermedades, definir y monitorear epidemias, proporcionar datos sobre patrones de salud y mostrar los cambios en los patrones de enfermedades a lo largo del tiempo (Jarup, 2004).

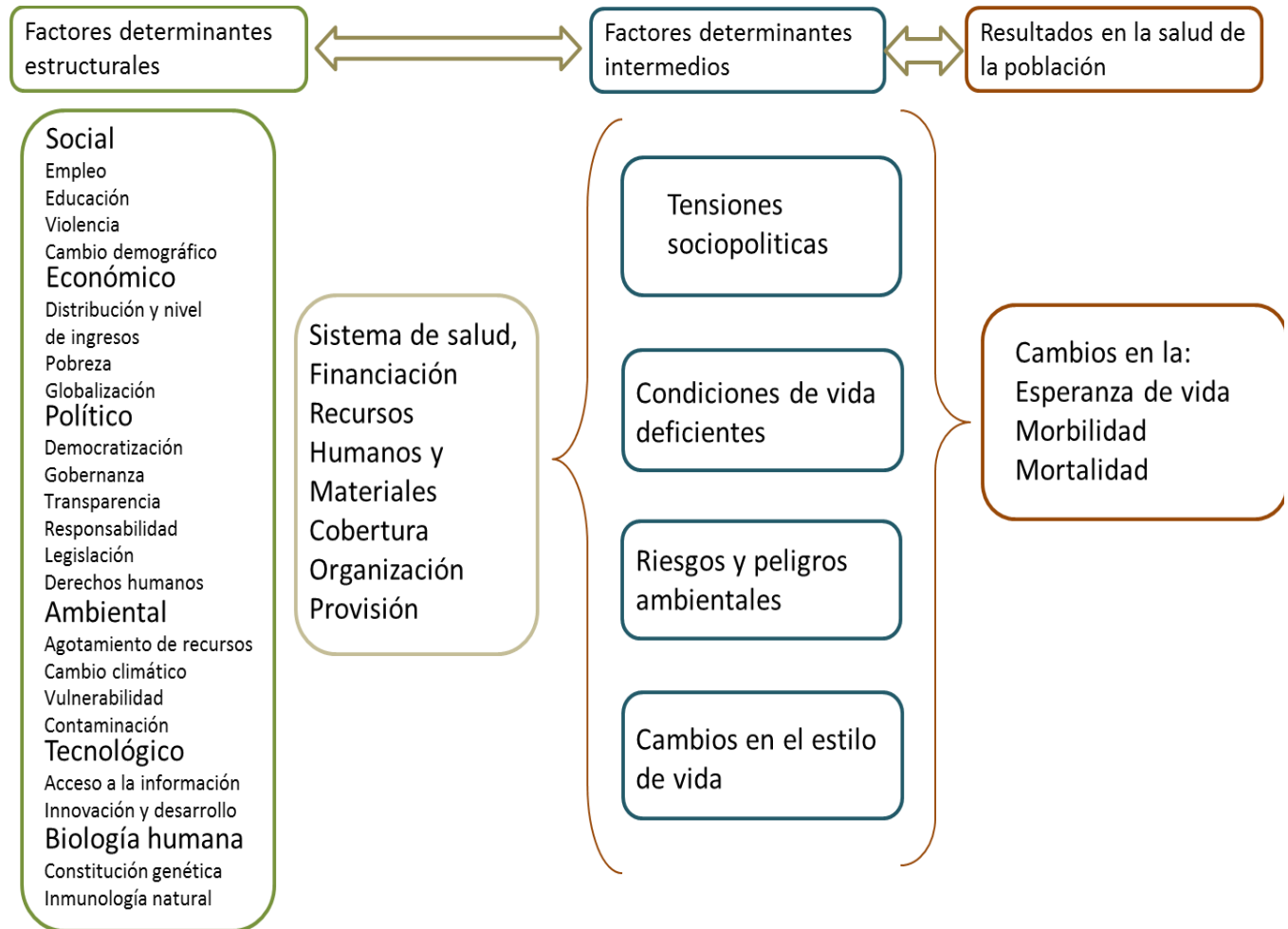


Figura 1. Factores determinantes de la salud. Modificado de OPS (2007).

RELACIÓN SALUD-AMBIENTE

La asociación entre la salud y el entorno físico es compleja, debido a la interacción de las distintas condiciones sociales, culturales y económicas prevalentes en el mundo actual; por lo anterior, se sugiere que la degradación ambiental y la injusticia social son los macrodeterminantes más relevantes de la salud (Idrovo, 2011).

Actualmente, existen más de 70 millones de sustancias químicas que son comercializadas alrededor del mundo, mismas que a través de distintos procesos llegan como desechos a los distintos compartimentos de los ecosistemas (aire, suelo y agua). Ya en el ambiente, estas sustancias se encuentran solas o combinadas; de ser el caso, las mezclas se forman por diferentes grupos de sustancias químicas que incluyen plaguicidas, bifenilos policlorados, productos farmacéuticos, de cuidado personal, entre otros. (Wu et al., 2016). La presencia de estos compuestos químicos en el ambiente ha permitido reconocer y cuantificar los efectos de la contaminación en los ecosistemas y en la salud de las poblaciones. Sin embargo, es claro que, en la realidad, dichos efectos son mucho mayores en complejidad y peligrosidad de lo que se ha contemplado hasta hoy (Landrigan et al., 2017).

La exposición a contaminantes ambientales propicia daños a la salud, los cuales se pueden dar a través de enfermedades transmisibles y no transmisibles. Las primeras y en particular las enfermedades gastrointestinales, están asociada a la contaminación biológica y química, proveniente de las plantas de tratamiento, parques industriales y sitios de descarga de residuos, establecidos en el área y que son similares a la que se han presentado en otras partes del mundo como en zonas industriales de España (García- Pérez, 2016 y 2017), en los ríos Sarno, Cavaiola y Solofrana, Italia (Motta et al., 2008), en los ríos Tittabawassee y Saginaw, E.U. (Oyana y Guajardo, 2009) y en el río Fong Shan, Japón (Juang et al., 2010; Anexo 1); mientras que las segundas se han vuelto altamente prevalecientes en todo el mundo e incluyen diferentes tipos de cáncer, hipertensión, diabetes, enfermedades respiratorias, disminución de la función cognitiva; trastorno por déficit de atención o hiperactividad, autismo en niños y enfermedades neurodegenerativas, incluida la demencia en adultos; así como alteración del equilibrio hormonal sexual, alteración del metabolismo y disfunciones orgánicas específicas (Ohe et al., 2004; Wu et al., 2016 y Landrigan et al., 2017; Anexos 1 y 2). Particularmente,

Hoy en día, la contaminación ambiental es la mayor causa de enfermedades y muertes prematuras en el mundo (Fig. 2); los niños, adultos mayores y personas marginadas son los sectores más susceptibles al daño (Landrigan et al., 2017). Entre 2007 y 2012, se estimaba que 24% de la carga mundial de morbilidad y 23% de las defunciones mundiales podían atribuirse a factores ambientales; mientras que 25% de la mortalidad en los países en vías de desarrollo y 17% de ésta, en los desarrollados podía ser atribuida a causas ambientales (OPS, 2007). Para 2015, se estimó que la contaminación causó la muerte de entre 9 y 12 millones de personas. De todas las formas combinadas, 21% fue por enfermedades cardiovasculares, 26% por cardiopatía isquémica, 23% por accidente cerebrovascular, 51% por enfermedad pulmonar obstructiva crónica y 43% por cáncer de pulmón. A pesar de que las muertes

ocurren en países con diferentes niveles de ingresos, se estima que, aproximadamente, 92% de las muertes ocurrieron en países de bajos y medianos ingresos (Landrigan et al., 2017).

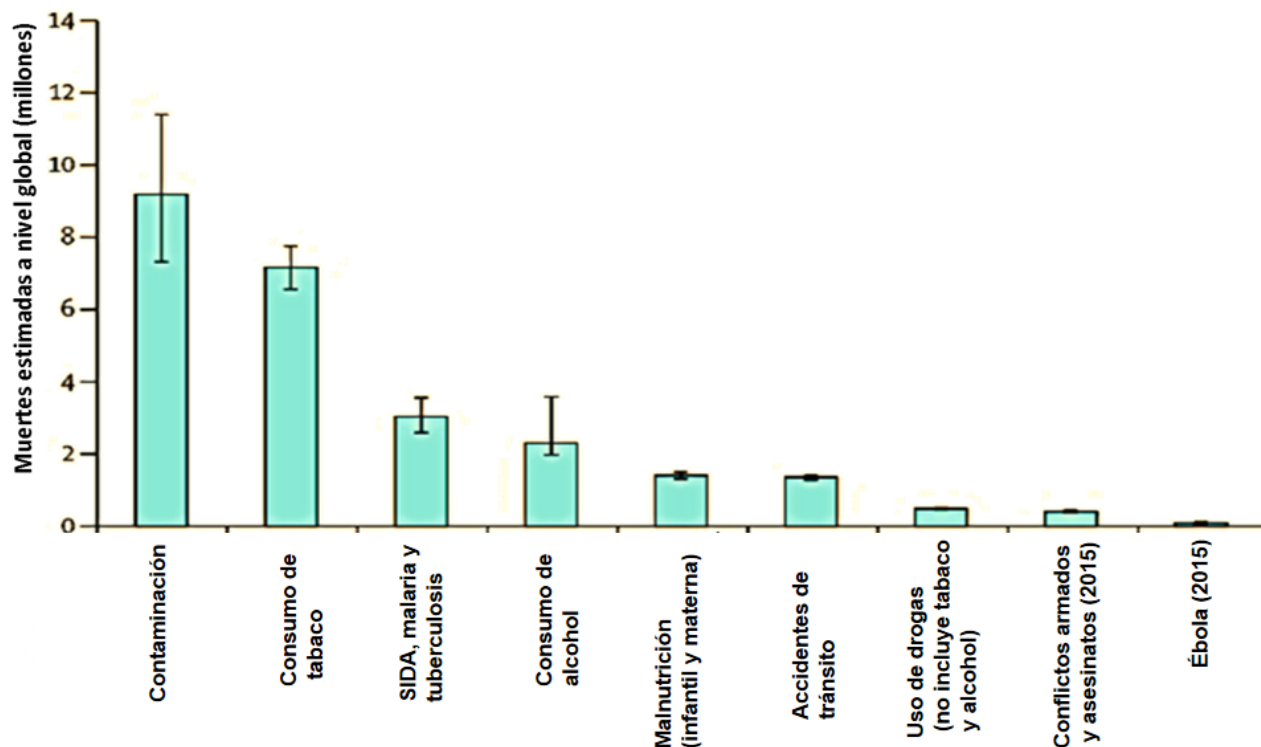


Figura 2. Estimaciones globales de número de muertes por las principales causas y factores de riesgo. Modificada de Landrigan et al. (2017).

LOS RÍOS COMO RECEPTORES DE DESECHOS

El agua es un recurso clave para todo ser vivo, a lo largo de la historia humana los ecosistemas acuáticos han jugado un papel importante en el desarrollo de las sociedades, debido a que el agua es el sustento para satisfacer las necesidades básicas de consumo, limpieza y provee diversos servicios ecosistémicos (Carabias y Landa, 2005). Toda actividad humana influye, directa o indirectamente en los cuerpos de agua y en su biota, lo que puede considerarse como un costo socioambiental generado por las diferentes actividades económicas, pues puede implicar la pérdida del bienestar general, ya que el saneamiento para reducir este impacto tiene un costo que nadie asume pero que todos padecen (Aguilar y Durán, 2010).

En el caso de los ríos, además de proveer servicios ecosistémicos de provisión, regulación, culturales y de soporte; han sido utilizados, desde la antigüedad, como receptores de los desechos de las

poblaciones humanas. A finales del siglo XVII, el paradigma de la época, el sanitarista o del “miasma”, explicaba que la mortalidad de las poblaciones se debía a la contaminación o al envenenamiento del suelo, aire o agua; por lo cual, se adoptó como medida preventiva la “saneación ambiental”, la cual consistía principalmente en dirigir los drenajes de las ciudades a los ríos para desechar los residuos lejos de los asentamientos humanos, para reducir la incidencia de enfermedades y la mortalidad en las poblaciones (Hernández-Girón et al., 2012).

En un inicio, los efectos negativos de esta práctica no fueron evidentes, pues los ríos tienen la capacidad de autodepurarse mediante un conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos, que se encargan de degradar la materia orgánica presente en los cauces. Este proceso es realizado principalmente por bacterias aerobias, por lo que la capacidad de autodepuración de un río se puede medir por el balance de oxígeno disuelto (Monte, 2013). El funcionamiento del mecanismo de autodepuración se puede dividir en cuatro fases, de acuerdo con la calidad del agua: 1) zona de degradación: se produce cuando se incorporan aguas residuales al cauce del cuerpo de agua, la cual se caracteriza por la presencia de sólidos suspendidos, turbiedad, el incremento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), pues debido al inicio de la biodegradación, el oxígeno se reduce alterando el entorno ecológico. Cuando la descarga es continua los organismos acuáticos desaparecen; 2) zona de descomposición activa: en esta etapa se observa el agua sucia, fétida, de color oscuro y, en muchos casos, con espuma, se desprenden gases, como metano o ácido sulfhídrico, que además de causar malos olores, producen daños a la salud. Generalmente en esta etapa se mantienen los sitios más contaminados del país; 3) zona de recuperación: se aprecia un incremento en la concentración de oxígeno disuelto (OD), al tiempo que la DBO disminuye y 4) zona de aguas limpias: se caracteriza por el restablecimiento de la flora y fauna nativa debido a la restauración del OD (Monte, 2013). No obstante, cuando la capacidad de autodepuración se rebasa, ya sea por la cantidad o el tipo de desechos vertidos, los ríos comienzan un proceso de deterioro, principalmente en la calidad del agua. En este caso se observan diferentes cambios en el ecosistema que llevan a la pérdida de su integridad.

PÉRDIDA DE LA INTEGRIDAD ECOSISTÉMICA Y SUS EFECTOS EN LA SALUD

Según Hitt y Hendryx (2010), la integridad ecosistémica se define como el estado del ecosistema en el que se apoya y mantiene la estabilidad de una comunidad, a través de rasgos como la composición de especies, diversidad y la organización funcional de los organismos adaptados al medio en el que se encuentran. Es decir, un ecosistema íntegro es aquel en el que, a pesar de los factores que pueden

incidir en él, es capaz de mantener tanto su estructura como sus funciones. Butler et al. (2005) plantean que los cambios en el ecosistema y sus servicios tienen que ver no sólo con cuestiones ambientales, sino que todo interacciona en un mosaico de cofactores sociales, económicos y políticos. De acuerdo con Butler et al. (2005), los efectos de la pérdida de la integridad ecosistémica se pueden dividir en cuatro categorías: 1) efectos directos: se manifiestan de forma inmediata, mediante la pérdida de un servicio ecosistémico, 2) efectos medianos: generalmente se observa una discrepancia entre el tiempo en el que ocurre el cambio en el ecosistema y el resultado que tiene dicho cambio sobre la salud humana e implica también una mayor escala en cuanto a la población afectada, 3) efectos modulados o terciarios: estos hacen referencia a una escala mayor en la que se ve involucrado el fracaso del Estado, así como un colapso social y económico, y 4) sistema fallido, éste involucra un colapso socioeconómico, pues al aislar a comunidades pobres estas quedan propensas al daño por la modificación en los ecosistemas, se crea un estado mayor de vulnerabilidad (Butler et al., 2005). Es decir, el daño se presenta a una mayor escala, de tal forma que tanto el ecosistema como las poblaciones humanas presentan graves daños, los cuales se vuelven prácticamente irreparables al paso del tiempo. Por ello, la conservación y el manejo adecuado de los ecosistemas y de los muchos servicios que proveen se ha vuelto un tema de relevancia mundial.

ANTECEDENTES

En México, 70% de los cuerpos de agua superficial presentan algún tipo de contaminación (Carabias y Landa, 2005). En nuestro país las descargas de aguas residuales se dividen en: 1) municipales y 2) no municipales; las primeras son aquellas que se manejan a través de los sistemas de alcantarillado urbanos y rurales, mientras que las segundas corresponden a las descargas realizadas directamente a los cuerpos receptores de propiedad nacional, tal como lo hacen las industrias autoabastecidas (CONAGUA, 2015).

Tabla 1. Descargas de aguas residuales a los cuerpos de agua nacionales. Fuente CONAGUA (2015).

Agua residual no municipal				Agua residual municipal			
Año	Descargas (m ³ /s)	Agua tratada (m ³ /s)	Porcentaje tratado	Año	Descargas (m ³ /s)	Agua tratada (m ³ /s)	Porcentaje tratado
2014	211.4	65.6	31.0	2014	228.7	111.3	48.7
2015	214.6	70.5	32.8	2015	231.8	120.9	52.2

Los datos presentados en la Tabla 1, muestran que aún existe un rezago en la capacidad de tratamiento del agua residual en el país, lo que produce un proceso de degradación ambiental en muchos ríos de México.

En el año 2003, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) realizó una evaluación sobre calidad de agua en 122 países, entre los cuales México ocupó el lugar 106, por lo que se recomendó que el tema de la calidad del agua sea una prioridad en la política pública. También se reportó que una de las cuencas más contaminadas del país es la del Lerma-Santiago (Carabias y Landa, 2005).

Para entender el proceso de degradación ambiental en el estado de Jalisco y, particularmente, la paulatina contaminación del Río Grande de Santiago, es importante conocer la historia de la zona. De acuerdo con Peniche y Guzmán (2009), el proceso de mercantilización del agua comenzó a partir del siglo XIX y de las primeras décadas del siglo XX, cuando un grupo de empresarios tuvieron el poder de dominar una importante zona productiva de la ciudad. En 1896, se inauguró la primera industria textil aledaña al Río Grande de Santiago (RS); además, en ese mismo año y hasta 1906, se estableció la Colonia industrial Río Grande, la que además de la industria textil, incluía la primera hidroeléctrica del país y, para ese entonces, la más grande de América Latina (Durand, 1986). En la década de 1970, el gobierno federal promovió la descentralización de la industria, por lo que apoyó la creación de corredores industriales en varios estados del país, entre ellos, el corredor industrial de Jalisco. Gracias a este proyecto, se inauguraron parques industriales en seis municipios: El Salto, Ocotlán, Poncitlán, La Barca, Juanacatlán e Ixtlahuacán de los Membrillos. En dichos complejos, se instalaron empresas de la industria automotriz, alimentaria, farmacéutica, petroquímica y electrónica (Partida, 2002), mismas que por su cercanía, aprovecharon el agua del río Santiago. Asimismo, en la década de 1990, con la apertura del mercado mediante el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, la industria se diversificó y creció (McCulligh, 2007). Durante el proceso de industrialización de la zona metropolitana de Guadalajara, el municipio de El Salto fue el principal sitio en donde las empresas buscaron asentarse, debido a su ubicación estratégica (Partida, 2002).

En cuanto al deterioro general del RS, los testimonios de pescadores indican que, en 1973, se presentó la mayor mortalidad de peces; también se reportó la muerte de ganado después de beber agua del río. Para 1984, la hipoxia ya había causado la pérdida de vida acuática, lo que dio paso a la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Dicha situación empeoró debido a la construcción de

obras hidráulicas, como la cortina del Salto de Juanacatlán, así como por las descargas industriales y municipales que contribuyeron a la retención de materia orgánica y a su descomposición anaeróbica, provocando así el desprendimiento de gases y malos olores, entre los que destacaba el ácido sulfhídrico, que es un gas neurotóxico (McCulligh, 2007).

Por otra parte, en 2005, académicos y personal de distintas instituciones iniciaron estudios en las poblaciones aledañas al río, para conocer si los habitantes eran afectados por la contaminación. Uno de los primeros estudios publicados fue el de Juan Gallardo (2005), quien reportó que, de 100 casas encuestadas, 90% de los niños presentaban padecimientos respiratorios, por lo que concluyó que los efectos a la salud reportados sugerían que la población se encontraba constantemente expuesta a bajos niveles de ácido sulfhídrico. A mediados de ese mismo año y durante los primeros meses de 2006, un médico familiar del IMSS realizó un estudio epidemiológico ecológico observacional en 100 niños de entre 8 y 11 años. Encontró que existen afectaciones en distintos aparatos y sistemas de los niños (Tabla 2) y que la concentración atmosférica de ácido sulfhídrico (H₂S) a la que se encontraban expuestos variaba en función de la temperatura y los vientos (McCulligh, 2007).

Tabla 2. Resultados obtenidos en el primer estudio epidemiológico realizado en una población aledaña al río Santiago. Fuente McCulligh (2007)

Sintomatología	Grupo expuesto a contaminantes (%)	Grupo no expuesto (n=50); (%)
<i>Aparato respiratorio:</i>		
Promedio de flujo respiratorio máximo	1,500 [cc]	2000 [cc]
Saturación de oxígeno	90-95	95-99
Tos	45	23
Rinorrea (secreción nasal)	59	21
<i>Sintomatología del aparato neurológico:</i>		
Irritabilidad	80	18
Cefalea (dolor de cabeza)	51	21
<i>Aparato oftalmológico</i>		
Conjuntivitis irritativa	41	4
<i>Otros</i>		
Fatiga	38	8
Ausencia escolar por consulta médica debido a infección en vías respiratorias	37	13

En el año siguiente, se dio a conocer el “Informe sobre violaciones al derecho a la salud y a un medio ambiente sano en Juanacatlán y El Salto, Jalisco, México” y el estudio “Impactos de la contaminación del Río Santiago en el bienestar de los habitantes de El Salto, Jalisco”, se llevó a cabo la Audiencia Pública del Tribunal Latinoamericano del Agua; y “Caso: Deterioro y contaminación del Río Santiago. Municipios de El Salto y Juanacatlán, Estado de Jalisco, República Mexicana” (McCulligh, 2007; Tribunal Latinoamericano del Agua, 2007; Martínez y Hernández, 2009). En estos trabajos se reunió información y se hizo la denuncia del problema de la contaminación del río por diversas sustancias químicas (benceno, tolueno, xileno, furanos, ácido sulfhídrico, etc.), metales pesados (plomo, cromo, cobalto, mercurio y arsénico) y coliformes fecales, cuya concentración era 110 veces arriba del límite establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. También, se denunciaron las afectaciones a la salud física y psicológica de los habitantes de las poblaciones cercanas al RS. Entre éstas destacan: leucemia, abortos espontáneos, enfermedades respiratorias, ansiedad, depresión y estrés crónico, entre otros (Martínez y Hernández, 2009;).

Otro acontecimiento relacionado ocurrió en 2008, cuando el niño Miguel A. López murió después de caer al río y permanecer en coma durante 12 días. El estudio de patología reveló altos niveles de metales pesados, particularmente de arsénico, los cuales eran similares a los que presentaría una persona adulta con exposición laboral por varios años (McCulligh, 2007). A partir de dicha situación, la sociedad civil de la zona comenzó a tomar conciencia del grave problema de la contaminación a la que se encontraba expuesta. Las acciones tomadas por los familiares del niño llamaron la atención de distintas instituciones, entre ellas la Comisión Estatal de Derechos Humanos de Jalisco, que en 2009 emitió una recomendación al gobierno del estado, encabezado por Emilio González Márquez. En ésta, se demandó a los tres niveles de gobierno por la violación al derecho humano a gozar de un ambiente sano y equilibrado, así como a la salud, al agua, a tener una vivienda en un entorno digno y a los derechos de las niñas y niños a tener un nivel de vida adecuado para su desarrollo (CEDHJ, 2009).

Como respuesta a la recomendación y con el propósito de que los habitantes pudieran gozar del derecho al medio ambiente sano, en 2010 el Gobierno de Guadalajara decretó el Polígono de Fragilidad Ambiental de la cuenca El Ahogado (POFA), con el que se buscó que los diferentes niveles de gobierno implementaran medidas de protección, conservación, restauración y remediación para restablecer las condiciones que llevaran a una disminución de los riesgos en los habitantes de la región.

Dicho polígono abarca una superficie de 745 km² aprox., distribuidos en 10 municipios (Periódico Oficial del Estado de Jalisco, 2 de septiembre, 2010).

En 2009, se realizó una compilación de trabajos titulada “Estudios de la Cuenca del Río Santiago. Un enfoque multidisciplinario”. En este trabajo se dan evidencias de que existe una vinculación directa entre el control de los recursos hídricos y la evolución del capital, y que en el caso particular de Jalisco, el agua fue uno de los elementos primordiales para la consolidación de sectores productivos como la industria textil, la generación de energía mecánica y de energía eléctrica (Peniche y Guzmán, 2009).

Posteriormente, en 2012, se realizó el “Estudio de la contaminación del río y la salud pública en la cuenca del Alto Santiago”. En este trabajo se menciona que los antecedentes del deterioro del RS iniciaron en 1940, con el proceso de industrialización y urbanización que, al igual que en Guadalajara, también ocurrieron en las ciudades de México y Monterrey. Además, en 1953, el Programa de Parques y Ciudades Industriales creó alrededor de 100 complejos, de los cuales cuatro se ubicaron en la Zona Metropolitana de Guadalajara. En 1967, se instaló el primero en el municipio de El Salto y, para 1984, existían más de 70 industrias en el corredor industrial (Arellano-Aguilar, et al., 2012 b).

De acuerdo con Arellano-Aguilar et al., (2012 b), 18 de 23 parámetros de calidad del agua superan los niveles recomendados. En la Tabla 3, se muestra el resumen de los resultados obtenidos durante el estudio, dado que no existen datos de todos los años. Entre paréntesis se indican los años de registro de cada parámetro.

Tabla 3. Evaluación de diferentes parámetros de calidad del agua en río Santiago. Fuente Arellano-Aguilar et al. (2012 b).

Parámetro (año)	Resultado	LMP*
Temperatura (1990-2012)	Máximo: 25°C (agosto) Mínimo: 15.4° C (febrero)	40°C
pH (1990-2012)	Entre 6.5-8.5 en 2004, 2007-2008 se registraron los valores más bajos.	6.5- 8.5
Oxígeno Disuelto (2004-2012)	Se mantiene debajo del mínimo recomendado para la vida acuática (5 mg/L) Arroyo Las Pintas y Presa El Ahogado 0.7 mg/L Río Grande de Santiago 2.3 mg/L	5 mg/L
Conductividad (2005-2012)	Ha ido en aumento, eso sugiere un aumento de substancias ionizables como Ca, Mg, Na, K, iones Cl, carbonatos y sulfatos.	No establecido

Nitrógeno amoniacal (2005-2012)	Aumento en los últimos años. Desde 2005 se ha mantenido hasta 100 veces por arriba del límite.	0.06 mg/L
Fósforo (2006-2012)	La concentración disminuye de junio a octubre, El Ahogado presenta los niveles más altos.	0.05 mg/L
Sólidos disueltos (2005-2012)	Entre 560 mg/L y 887 mg/L. De julio a septiembre disminuye su concentración. El Ahogado presenta la mayor concentración (730 ±30.51 mg/L)	No especificado
Sólidos suspendidos totales (1990-2012)	En la mayoría de los años, el límite se ha sobrepasado. En 2008 se registró el valor más alto. De julio a septiembre la concentración disminuye.	30 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno (1990, 2005-2012)	Ha ido en aumento, en 2008 rebasó el límite por primera vez. El Ahogado lo excede eso indica que la carga de materia orgánica en esa zona es mucho mayor.	30 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (2005-2012)	Va en aumento, todo el periodo se mantuvo por arriba del límite.	40 mg/L
Metales pesados (2006-2012)		
Aluminio	Siempre por arriba del límite. Concentración máx. en 2011	0.05 mg/L
Arsénico	Debajo del límite establecido por la Ley Federal de Derechos	0.2 mg/L
Bario	Solo hay registro para cuatro años. Siempre arriba del límite.	0.01 mg/L
Cadmio	Ha ido en aumento conforme pasan los años.	0.004 mg/L
Cobre	Superó el límite del año 2009 al 2011.	0.05 mg/L
Cromo	En los últimos tres años se ha mantenido en el límite.	0.05 mg/L
Hierro	En los últimos tres años ha excedido ligeramente el límite.	1 mg/L
Manganeso	No hay límite establecido. Máximo fue 1.338, en promedio 0.329 mg/L	No establecido
Mercurio	Se ha mantenido en niveles superiores al límite en los últimos tres años.	0.0005 mg/L
Níquel	Se mantiene debajo del límite fijado.	0.6 mg/L
Zinc	Consistentemente ha rebasado el límite.	0.2 mg/L
Plaguicidas organoclorados	Sólo se reportó en 1994 para La Presa Corona. α HCH λ HCH (lindano) β HCH Aldrín → Rebasó el límite	Sin límite establecido 0.0003 mg/L

*Límite máximo permitido según los Indicadores de Calidad del Agua (ICA) de la CONAGUA para calidad aceptable, con indicios de contaminación, aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Ley Federal de Derechos. Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2014 y 2015 (SEMARNAT-CONAGUA).

También, durante 2012, se inauguró la Planta de Tratamiento “El Ahogado”, diseñada para tratar 2,250 L/seg. Mediante esta medida se estimó que se reduciría la contaminación del río por agua residual de la Zona Metropolitana de Guadalajara, 3 a 20 % (CEA Jalisco, 2012).

Finalmente, el último reporte que existe sobre el monitoreo de la calidad de agua es el publicado por la Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA Jalisco), bajo el nombre de “Resultados del monitoreo Río Santiago, Río Zula y Arroyo El Ahogado de julio de 2013”. Entre sus conclusiones menciona que la gran mayoría de puntos de muestreo están contaminados, pues en todos los casos se rebasó uno o varios de los límites máximos permisibles para los parámetros evaluados, como la Demanda Química y Bioquímica de Oxígeno, coliformes fecales y metales pesados, entre otros (CEA Jalisco, 2013).

A pesar de que no se han publicado estudios recientes sobre la calidad del agua ni de la salud de los pobladores que habitan las zonas aledañas al río, en 2016, miembros del grupo de trabajo de las Naciones Unidas sobre Empresas y Derechos Humanos visitó el río Santiago. En su declaración, emitida al final de la visita al país, reconoce la problemática de río Santiago, ratificando la condición de ser el río más contaminado de México al recibir descargas de más de 300 industrias ubicadas en el corredor que va de Ocotlán a El Salto. Asimismo, se retomó el estudio realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, entre 2007 y 2011, en donde se reportó que en dicho cuerpo de agua se encontraron alrededor de 1,090 sustancias químicas disueltas (Naciones Unidas, 2016). A partir de lo anterior, se desprende la necesidad de continuar con las evaluaciones de la evolución de la calidad del agua y de la salud de los habitantes de la zona.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las principales sustancias químicas emitidas al ambiente y presentes en las aguas residuales que se descargan al Río Grande de Santiago, de Ocotlán a El Salto y Juanacatlán?

En las poblaciones cercanas al Río Grande de Santiago ¿cuál ha sido el comportamiento de las tasas de mortalidad por enfermedades persistentes en sitios contaminados, en los últimos 17 años?

Las acciones implementadas desde 2010 para tratar la problemática de la contaminación del Río Grande de Santiago ¿han impactado positivamente o negativamente en la salud de los habitantes de los municipios aledaños al río?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar las tendencias de contaminación y mortalidad en los municipios aledaños al Río Grande de Santiago para explorar la posible asociación entre ambos fenómenos.

OBJETIVOS PARTICULARES

- ⊗ Determinar las principales sustancias químicas presentes en las aguas residuales que se descargan al Río Grande de Santiago, desde el municipio de Ocotlán hasta El Salto-Juanacatlán, Jalisco.
- ⊗ Analizar el comportamiento de la calidad del agua del Río Santiago entre 2009 y 2015.
- ⊗ Analizar la tendencia de la mortalidad por enfermedades asociadas a sitios contaminados, en los municipios cercanos al Río Santiago, entre 1998 y 2015.
- ⊗ Analizar la distribución espacial de las tasas de mortalidad y de las emisiones de contaminantes, para explorar la asociación entre ellos.

MÉTODO

ZONA DE ESTUDIO

El Río Grande de Santiago se encuentra en la cuenca hidrológica Santiago-Guadalajara. Para este trabajo se seleccionaron nueve municipios: Ocotlán, Poncitlán, Zapotlán del Rey, Ixtlahuacán de los Membrillos, Tlajomulco de Zúñiga, Juanacatlán, El Salto, Tonalá y Zapotlanejo (Fig. 4).

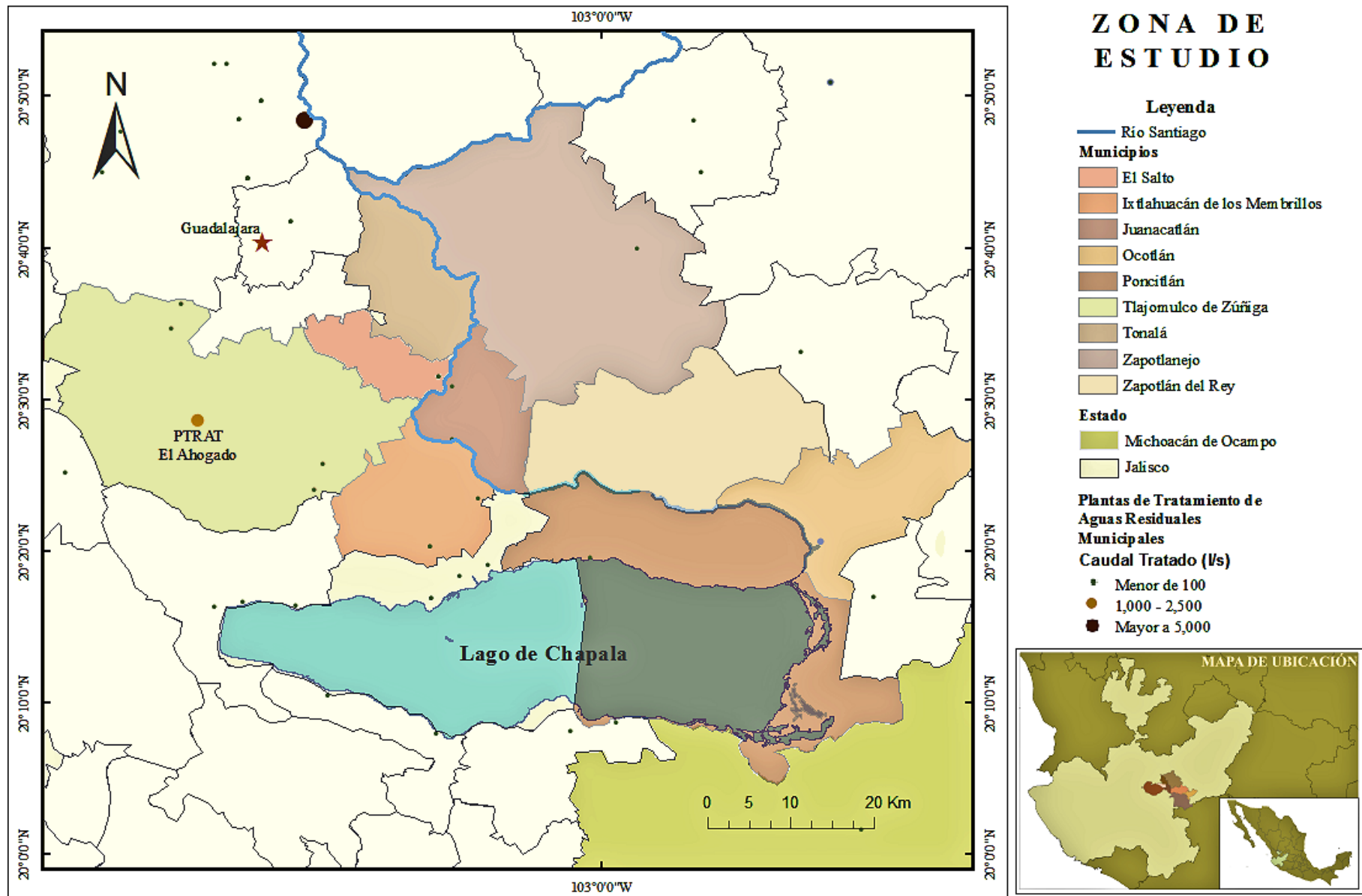


Figura 3. Mapa de la zona de estudio, elaboración propia a partir del Mapa de límites municipales (INEGI, 2012), del Mapa de límites estatales (INEGI 2015) y del Agua Servicio de Mapa (SEMARNAT, 2016).

De acuerdo con el Consejo Nacional de la Población (2010) y el Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco (IIEG Jalisco, 2017), durante el periodo de 2000 a 2015 y, a pesar de que se ha observado un decremento en el índice de desarrollo humano, los nueve municipios se mantuvieron con grado de desarrollo alto a muy alto, mientras que el grado de marginación y rezago social se mantuvo entre bajo y muy bajo, con excepción del municipio de Zapotlán del Rey, sitio en donde la marginación fue de nivel medio, durante el periodo mencionado.

La distribución de la población por municipio se puede observar en la Tabla 4, mientras que la población derechohabiente en algún sistema de salud, de acuerdo con datos del año 2000, se encontraba entre 20.6% y 59.5%, y en 2015, la población afiliada fue de entre 67.9% y 85.7% (Fig. 5); el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y el Seguro Popular, son las instituciones con mayor número de derechohabientes (IIEG, 2017).

Tabla 4 Población de la zona de estudio en 2015. Fuente INEGI (2015).

Municipio	Habitantes	Municipio	Habitantes
Tlajomulco de Zúñiga	549,442	Ixtlahuacán de los Membrillos	53,045
Tonalá	536,111	Poncitlán	51,944
El Salto	183,437	Juanacatlán	17,955
Ocotlán	99,461	Zapotlán del Rey	17,893
Zapotlanejo	68,519		

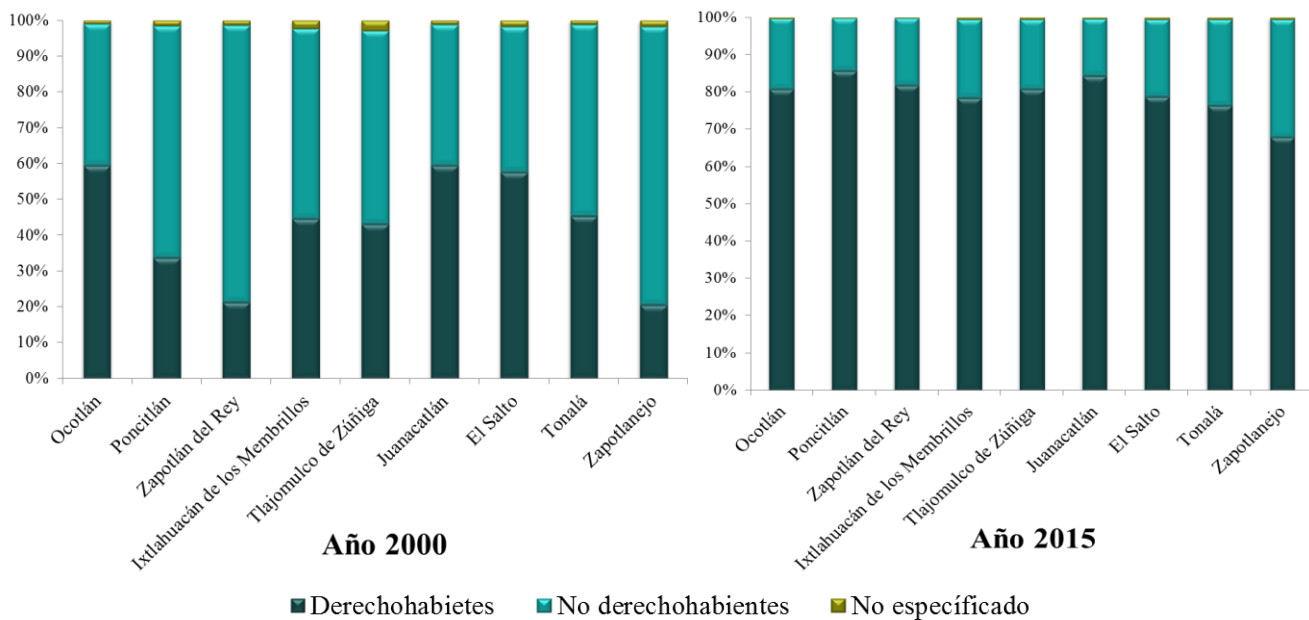


Figura 4. Porcentaje de población afiliada a algún sistema de salud. Elaborada con base en lo reportado por el IIEG Jalisco, 2017.

De acuerdo con lo reportado por el Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS), las principales causas de muerte de los nueve municipios durante el periodo 2010-2015 fueron, en orden descendente: enfermedades del corazón, accidentes, tumores malignos, enfermedades del hígado, afecciones originadas en el período perinatal y malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas. En el caso de Juanacatlán y Tonalá, la segunda causa de mortalidad son los tumores malignos. En cuanto a estas dos causas, ocasionaron un número de defunciones similares en todos los municipios.

En la zona de estudio se encuentran establecidos nueve parques industriales, uno en Ocotlán, cuatro en Tlajomulco de Zúñiga y cuatro en El Salto (IIEG Jalisco, 2017). Además, existen 22 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación y ocho que ya no operan (CEA Jalisco, 2017).

Tabla 5. Giros comerciales de las empresas ubicadas en la zona de estudio. Fuente Sistema de Información Empresarial, Secretaría de Economía (agosto de 2016).

Municipio	Manufactura (%)	Comercio (%)	Prestadores de servicios (%)	Otros (%)
Ocotlán	33.7	45.1	13.7	7.4
Poncitlán	29.0	57.9	9.21	3.95
Zapotlán del rey	50.0	50	0	0
Ixtlahuacán de los membrillos	47.0	45.1	1.96	5.88
El Salto	72.1	12.8	3.2	11.9
Zapotlanejo	13.4	70.1	13.39	3.15
Tlajomulco de Zúñiga	12.2	65.3	16.03	6.43
Tonalá	13.5	69.1	9.7	7.7
Juanacatlán	21.6	74.5	3.9	0

COLECTA DE DATOS

Se colectaron datos de emisión de contaminantes de las empresas en la zona de estudio, a partir de dos consultas en el Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (RETC) de la SEMARNAT. La primera, en marzo de 2016, cuando se encontró información disponible hasta 2013 y sólo para seis de los nueve municipios. Por lo anterior, se realizó una solicitud de información en la Plataforma Nacional de Transparencia, en la cual se pidió a la SEMARNAT el RETC completo para los municipios de interés, de 2005 a 2015. La segunda revisión del RETC se llevó a cabo en agosto de 2017. En esta ocasión el último año disponible para consultar fue 2014 y se encontró registro para siete de nueve

municipios. Para complementar la información, se construyó una base de datos con las empresas registradas en el Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM), de la Secretaría de Economía. Con lo anterior, se buscó determinar las substancias que utilizaban en sus procesos de producción o las substancias que ofertan y demandan; sin embargo, dicha información no se reporta completa. Al no obtener lo esperado por falta de datos, se consideró el giro empresarial por lo que las empresas fueron catalogadas con base en la clasificación empresarial de INEGI.

Los datos de calidad de agua en la zona de estudio: Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y metales pesados (Aluminio, Arsénico, Mercurio, Níquel, Plomo, Zinc y Cromo), se obtuvieron para el periodo de 2009 a 2015, para seis puntos de muestreo establecidos a partir de lo publicado por el sistema de calidad de agua de la CEA Jalisco, cuyo reporte es mensual.

Para obtener los datos de salud, se consultó el sitio de Cubo Dinámico “defunciones” del Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS, 2016). Se descargó el número de defunciones por causa específica por cada uno de los nueve municipios y para el Estado de Jalisco como línea base, de 1998 a 2015. Los datos de salud fueron depurados para: 1) excluir las enfermedades que no se asocian a exposición a contaminantes ambientales y 2) analizar aquellas enfermedades que presentaron una incidencia igual o mayor a cuatro casos durante el periodo de estudio.

Para obtener el tamaño poblacional de los municipios de estudio, se obtuvieron datos de las Proyecciones de Población publicadas por el Consejo Nacional de Población (CONAPO http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos). Para obtener los datos faltantes, se realizaron dos solicitudes de información pública en la Plataforma Nacional de Transparencia (<http://www.plataformadetransparencia.org.mx>). Finalmente, se utilizaron las proyecciones de población de 1995-2010 y 2010-2030.

Con los datos de la SINAIS y de CONAPO, se calculó la Tasa de Mortalidad por causa Específica (TME) para cada municipio mediante la fórmula:

$$TME = \frac{\text{Número de defunciones por causa específica}}{\text{Población del año de estudio}} \times 100,000 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Posteriormente se realizó el ajuste de tasas, con el fin de poder comparar el comportamiento de la mortalidad a través del tiempo, entre municipios. Para realizarlo se obtuvo la población estándar mediante la siguiente fórmula (OMS, 2005; OPS, 2014):

$$Población\ estándar = \Sigma Población\ municipal\ de\ la\ zona\ de\ estudio\ en\ el\ año\ X$$

La TME ajustada se calculó mediante la fórmula:

$$TME\ ajustada = \frac{Número\ de\ defunciones\ por\ causa\ específica}{Población\ estándar} \times 100,000 \quad \text{Ecuación (2)}$$

Se agruparon las enfermedades con base en la Clasificación Internacional de Enfermedades (OPS, 2008). Para visualizar las tendencias de mortalidad, se elaboraron gráficas por cada grupo de enfermedad. Los datos fueron analizados mediante estadísticas descriptivas para determinar posibles patrones de incidencia de enfermedades, así como el comportamiento de los indicadores de calidad de agua y emisión de contaminantes.

Por último, mediante un análisis espacial con el software ArcGis (versión 10.3), se determinó la coincidencia geográfica entre los municipios que presentan problemas de contaminación y mayores tasas de mortalidad (ajustadas) por enfermedades específicas. Se realizó un collage de mapas en donde se observan enfermedades gastrointestinales, cáncer, enfermedades respiratorias e insuficiencia renal en cuatro años: 2000, 2008, 2012 y 2015. Para visualizar los sitios en donde las tasas de mortalidad son mayores y menores se utilizaron colores oscuros que se degradan a claros, respectivamente.

RESULTADOS

CONTAMINANTES AMBIENTALES

Durante la primera consulta al RETC (abril, 2017), no se encontraron datos para todos los municipios; no obstante, en la segunda consulta realizada (agosto, 2017) el último año con información disponible fue 2014 y se encontró registro para siete de nueve municipios (Tabla 6).

Tabla 6. Registro de emisiones en los municipios de la zona de estudio, en donde * indica que en ese año se reportó emisión de sustancias al ambiente. Fuente RETC (2014).

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total de sustancias emitidas
Ocotlán	*			*	*					*	*	11
Poncitlán	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	17
Zapotlán del Rey												0
Ixtlahuacán de los Membrillos	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	13
Tlajomulco de Zúñiga	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	25
Juanacatlán												0
El Salto	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	19
Tonalá		*										1
Zapotlanejo	*	*		*					*	*	*	8

Durante el periodo disponible para consultar, se encontraron reportadas un total de 38 sustancias distintas emitidas al ambiente en la zona de estudio (Tabla 6 y 7), provenientes de 14 tipos de industrias (Tabla 8). Dichas emisiones fueron en su mayoría al agua, a través de los sistemas de drenaje, seguidas de emisiones al aire y al suelo. Asimismo, se encontró que la emisión al ambiente de grandes cantidades de metales pesados (Arsénico, Cadmio, Cromo, Mercurio, Níquel y Plomo) y de Cianuro (Fig. 5) fue heterogénea en toda la zona; en este sentido, El Salto fue el municipio con mayor emisión de metales pesados en el periodo de 2004 a 2014 (Fig. 6), mientras que Tlajomulco de Zúñiga fue el municipio en el que se reportó la emisión una mayor variedad de sustancias (Tabla 6), las cuales se han reportado como dañinas para organismos como aves, polinizadores y humanos. Por ejemplo: cloroformo, clorpirifos, diisocianato de difenilmetano polimérico, endosulfan, metil paration, entre otros.

Tabla 7. Contaminantes (reportados) emitidos al ambiente en la zona de estudio durante el periodo de 2004 a 2014.

Sustancia	Unidad	Ocotlán	Poncitlán	Ixtlahuacán de los Membrillos	Tlajomulco de Zúñiga	Tonalá	Zapotlajonejo	El Salto
Acetaldehído	kg/año							0.19
Ácido sulfhídrico	kg/año			24.8x10 ⁴				
Acrilamina	kg/año			67.7				
Acrlonitrilo	kg/año							51.3 x10 ³
Acroleína	kg/año							0.02
Arsénico	kg/año	3.941	3.1 x10 ³	43.33	16 x10 ²		3.7 x10 ²	15.6 x10 ⁴
Asbesto	kg/año		19.3x10 ³	17.9 x10 ³				43.7 x10 ³
Benceno	kg/año		5 x10 ³					0.17
Bifenilos políclorados	ton/año		15.63					
Bióxido de carbono	ton/año	14.2x10 ⁴	38.4x10 ⁵	41.9x10 ⁴	23.6x10 ⁴	196.62	26.8X10 ³	13.6x10 ⁵
Bióxido de nitrógeno	tn/año	45.6						16.28
Cadmio	kg/año	12.77	282	17.3	13.2x10 ³		677.73	57.6x10 ⁴
Cianuro	kg/año	63.14	3 x10 ²	38.66	6.6x10 ²		2.5 X10 ²	4.1 x10 ³
Clorodifluorometano (HCFC-22)	ton/año		7.9 x10 ²		0.06			8.18
Cloroformo	kg/año				2.1 x10 ³			
Clorometano	tn/año							98.9
Clorpirifos	kg/año				277			
Cloruro de metileno	ton/año		71.29		2.25			
Cromo	kg/año	20.52	13.9 x10 ²	73.6	30.7 x10 ³		35 X10 ³	88.9 x10 ⁴
Diclorodifluorometano (CFC-12)	ton/año		2.4		14.99			9.34
Diisocianato de difenilmetano polimérico	kg/año				18.1 x10 ³			
Dioxinas	g/año	2 x10 ⁻⁴	7.61		0.1			1119
Endosulfan	kg/año				10.2			
Epiclorhidrina	ton/año			0.22				
Estireno (fenil etileno)	ton/año			0.26				
Formaldehído	kg/año		100	4.8 x10 ²	44			2.2 x10 ³
Furanos	g/año	2 x10 ⁻⁴			0.1			9 x10 ⁻⁵
Hidrofluorocarbonos	kg/año				146.8			
Mercurio	kg/año	2.97	12.97	1.34	1.6 x10 ³		3 x10 ³	13.6 x10 ⁴
Metano	kg/año		3.7x10 ³	121	0.34			241.06
Metil paration	ton/año				0.01			
Níquel	kg/año	68.04	6.4 x10 ²	5 x10 ²	15.9 x10 ³		23 x10 ²	11.07 x10 ⁵
Óxido nitroso	ton/año							0.35
Pentaclorofenol	kg/año				5.4 x10 ⁻⁵			
Piridina	ton/año				0.08			
Plomo	kg/año	46.97	5.3 x10 ²	1.4 x10 ²	29.3 x10 ³		34.82	45.9 x10 ³
Tricloroetileno	kg/año				17.9 x10 ³			
Triclorofluorometano (CFC-11)	kg/año				8.4 x10 ³			

Tabla 8. Tipos de industrias que reportan emisiones en el RETC

Industria	
Alimenticia y/o de consumo humano	Equipos y artículos electrónicos, eléctricos y domésticos
Artículos y productos metálicos	Metalúrgica (incluye la siderúrgica)
Artículos y productos plásticos	Otros (aeropuerto)
Automotriz	Petróleo y petroquímica
Bebidas y tabaco	Química
Celulosa y papel	Textiles, fibras e hilos
Cemento y Cal	Tratamiento de residuos peligrosos

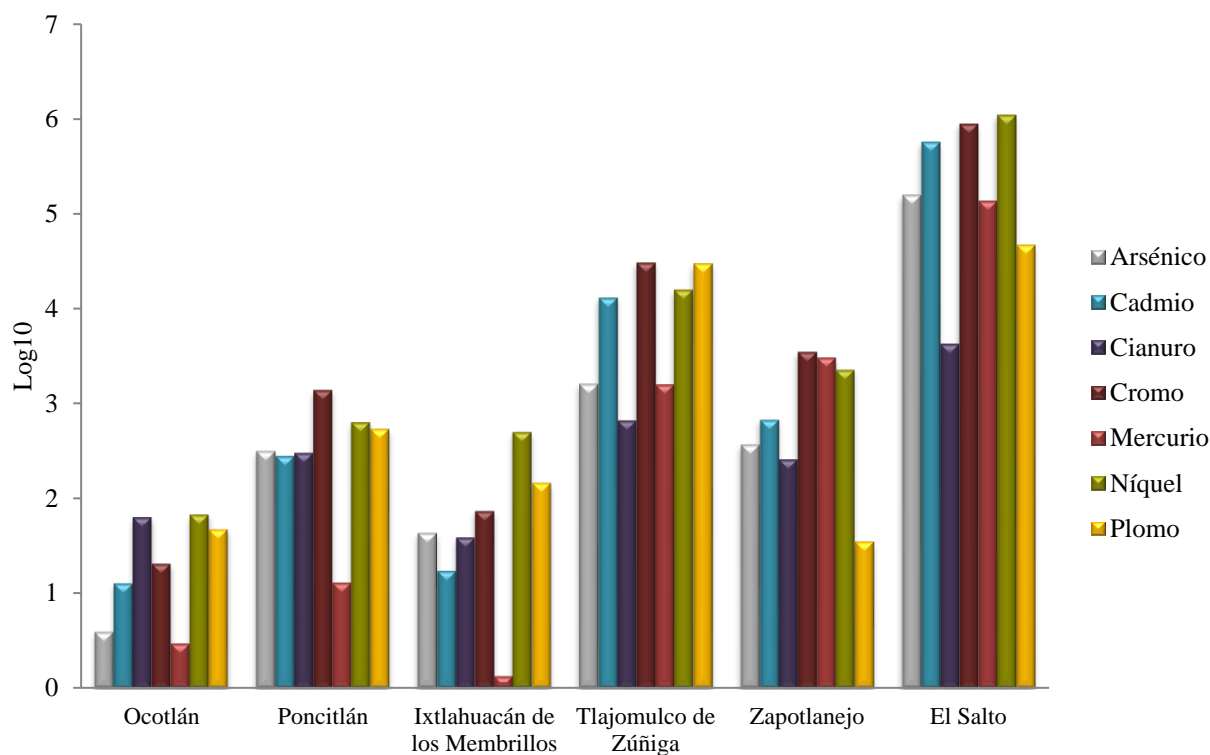
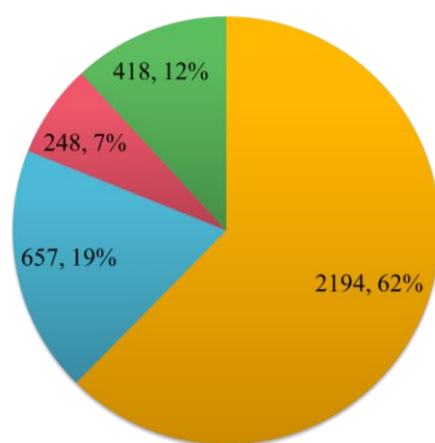


Figura 5. Principales sustancias emitidas al ambiente durante el periodo 2004-2014. Nota: Las cantidades se muestran en Log₁₀ y corresponden a kg/ año.

Tabla 9. Principales sustancias emitidas al ambiente en el municipio de El Salto de 2004 a 2014.

Substancia	Toneladas	Substancia	Toneladas
Arsénico	155,991	Mercurio	136,031
Cadmio	576,115	Níquel	1,106,549
Cianuro	4,186	Plomo	45,986
Cromo	888,830		

Para complementar la información, en agosto de 2016 se consultó el SIEM. En éste se encontraron datos para los nueve municipios. Sin embargo, se observó que la información del sitio varía constantemente, ya que las empresas aparecen y desaparecen del registro. En cuanto a los datos reportados, resultaron ser de poca utilidad debido a que la mayoría de las empresas registradas, en el rubro de oferta/demanda, no reportan los insumos necesarios para la elaboración de sus productos, ni con precisión las substancias que producen, únicamente mencionan algunos de los servicios requeridos para el funcionamiento de la empresa, por ejemplo: energía eléctrica, internet y agua. Por lo tanto, sólo se agruparon las empresas con base en la clasificación de giros empresariales de INEGI (2012; Fig. 7); en particular, el municipio de El Salto, fue el de mayor actividad manufacturera (Tabla 10).



■ Comercio ■ Manufactura ■ Otros ■ Prestadores de servicios

Figura 6. Giro comercial de las empresas establecidas en los nueve municipios de estudio; se muestra el número de empresas por cada giro y el porcentaje que representan con respecto al total en la zona contemplada en este trabajo. Elaboración propia con base en lo reportado en el SIEM en agosto de 2016.

Tabla 10. Porcentaje de giros empresariales registrados en los municipios de estudio. Fuente SIEM (2016).

Municipio	Manufactura (%)	Comercio (%)	Prestadores de servicios (%)	Otros (%)
Ocotlán	33.7	45.1	13.7	7.4
Poncitlán	28.9	57.9	9.2	3.9
Zapotlán del Rey	50	50	0	0
Ixtlahuacán de los Membrillos	47.1	45.1	2.0	5.9
El Salto	72.1	12.8	3.2	11.9
Zapotlanejo	13.4	70.1	13.4	3.1
Tlajomulco de Zúñiga	12.2	65.3	16.0	6.4
Tonalá	13.5	69.1	9.7	7.7
Juanacatlán	21.6	74.5	3.9	0

CALIDAD DE AGUA

El primer parámetro contemplado fue el OD. Los datos obtenidos muestran que, en general, a partir de 2012 hubo aumento en los valores registrados, respecto a los años anteriores. En particular, Matatlán ha sido el único municipio en el que el OD se ha mantenido por arriba del límite mínimo permitido, establecido en las disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales de la SEMARNAT y CONAGUA (2014). En cuanto a los demás municipios, se observó que no existe una tendencia a la mejora de la calidad del agua respecto a dicho parámetro, pues su comportamiento muestra que en ciertos años el OD aumentó y en otros disminuyó; por ejemplo, en los puntos de muestreo Ex Hacienda Zapotlanejo, El Salto-Juanacatlán y Presa Corona, que en 2012 y 2013 mostraron un aumento considerable de oxígeno disuelto, para los años siguientes, el OD disminuyó drásticamente. En el último caso, la disminución se dio a partir de 2014. Particularmente, los puntos de muestreo Ocotlán y Puente Grande han sido los únicos que han mostrado una tendencia al aumento de OD año con año (Fig. 7).

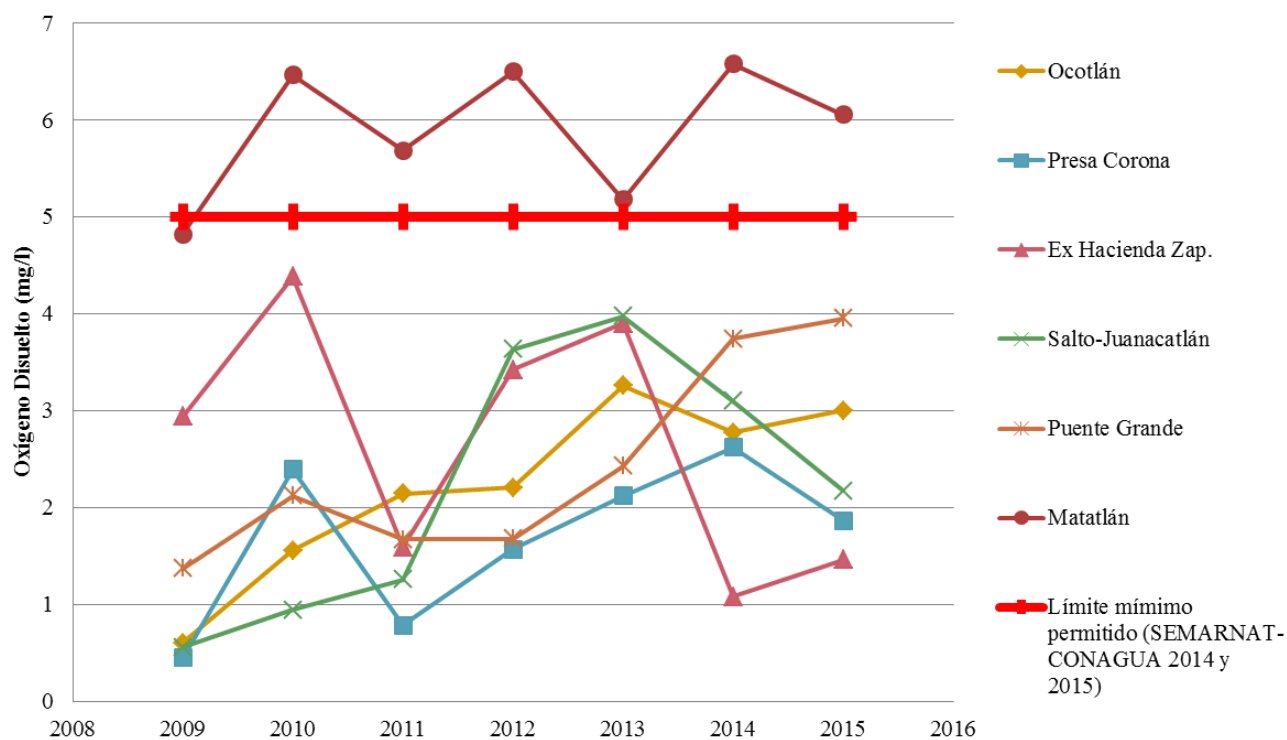


Figura 7. Comportamiento del Oxígeno Disuelto en río Santiago (2009 a 2015).

El segundo parámetro contemplado fue la DBO. Se observó que, con excepción de Ocotlán, en 2012 hubo reducción en los valores, posiblemente debido a la inauguración de la planta de tratamiento (PTAR) El Ahogado. Dicha disminución continuó durante 2013 y 2014 para los puntos de muestreo Ocotlán, Presa Corona y Puente Grande, mientras que, a partir de 2014, Matatlán, El Salto-Juanacatlán y Ex Hacienda Zapotlanejo mostraron aumento en la DBO. Para 2015, el único punto de muestreo en el que la disminución de dicho parámetro continuó fue Ocotlán, para Ex Hacienda Zapotlanejo hubo un drástico decremento en la medición respecto al año anterior y para el resto de los puntos la DBO aumentó. Para este caso en particular, a partir de 2012 el parámetro se ha mantenido por debajo del límite máximo permitido (Fig. 8), establecido en las disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales de la SEMARNAT y CONAGUA (2014).

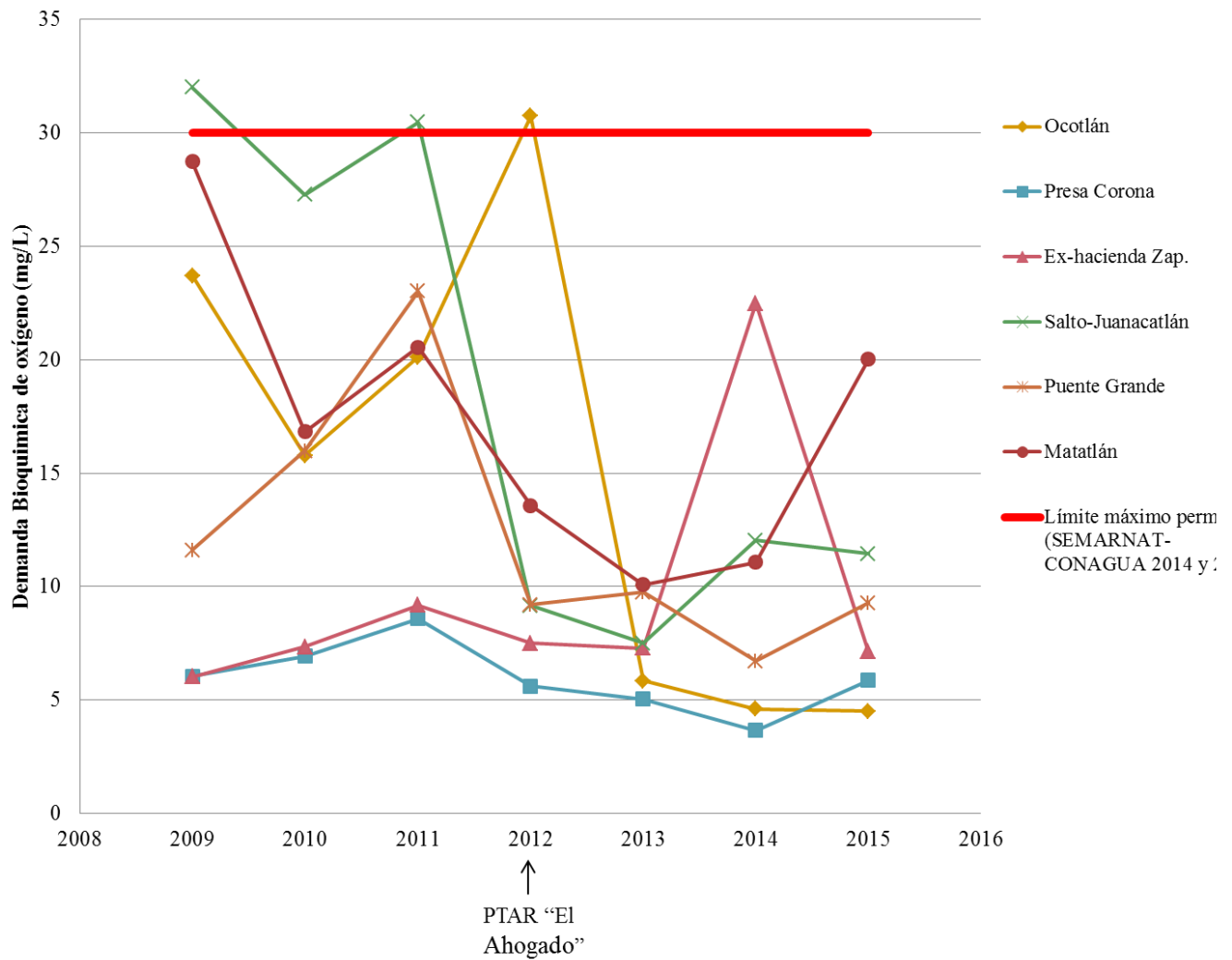


Figura 8. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en río Santiago (2009-2015).

El tercer parámetro contemplado en este estudio fue la DQO. En 2012, ésta disminuyó drásticamente en casi todos los casos, respecto a los años anteriores. Esta condición se mantuvo durante 2013, con excepción de los puntos Presa Corona, Matatlán y Ex Hacienda Zapotlanejo. Para 2014, se dio un aumento en los puntos de Matatlán y Ex Hacienda Zapotlanejo, mientras que, en 2015, Ocotlán fue el único municipio en el que la DQO continuó disminuyendo y, por única vez, en el periodo de estudio, alcanzó a situarse por debajo del límite máximo permitido. El resto de los municipios continuaron por arriba de dicho límite (Fig. 9).

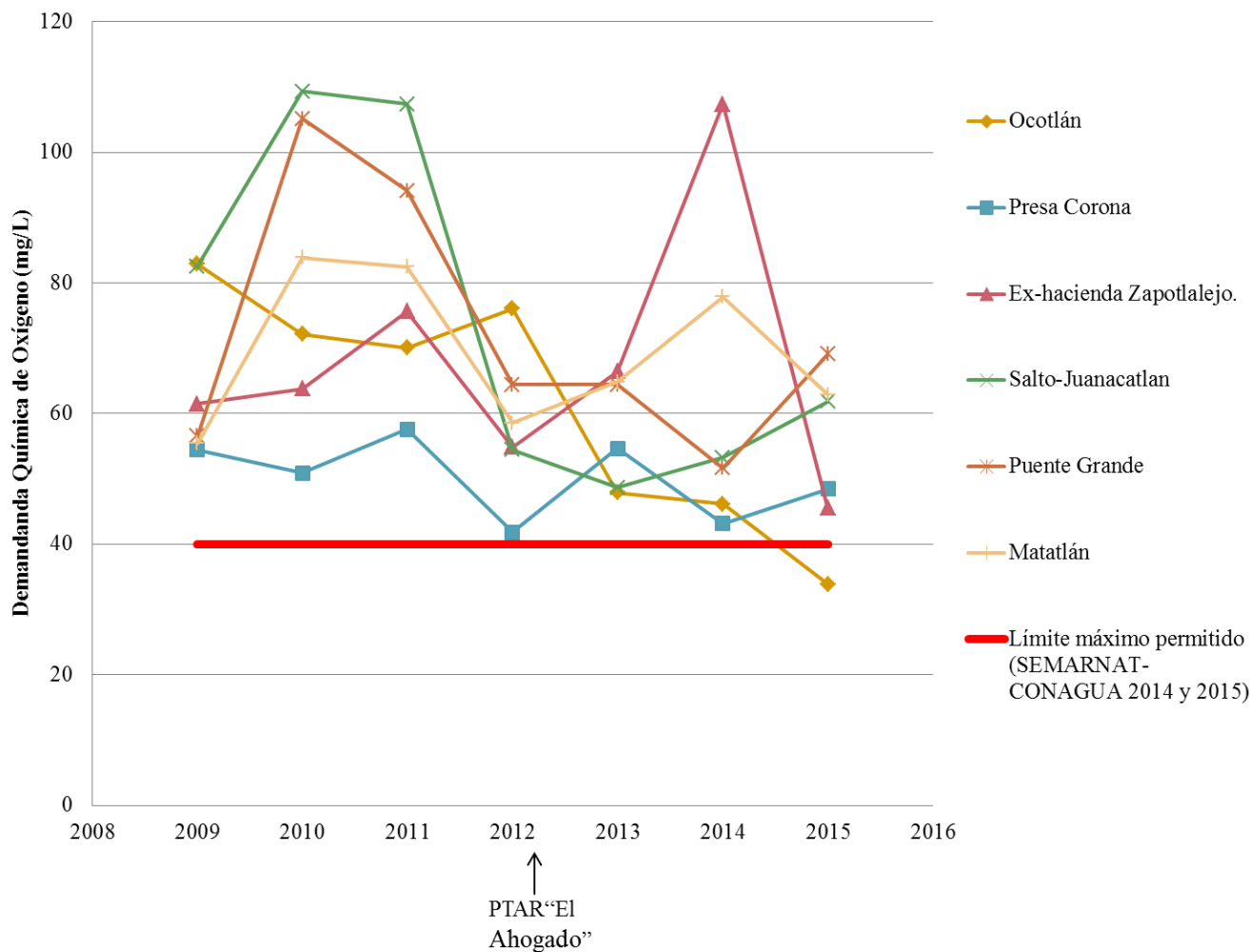


Figura 9. Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno en la zona de estudio (2009-2015).

Respecto al monitoreo de metales pesados, se observó que, a través de los años, no existe variación significativa en las mediciones, pues en todos los puntos de muestreo y en todos los meses los valores obtenidos son similares, con excepción del zinc y plomo. En la Fig. 10, se muestra el monitoreo realizado en la columna de agua, por la CEA Jalisco durante 2013. Se aprecia claramente que con excepción del zinc y plomo las mediciones son las mismas en la mayoría de los puntos muestreados. En cuanto a los límites máximos permitidos (no se muestran en la Fig. 10), en todos los casos se mantuvieron por debajo de lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (Tabla 11).

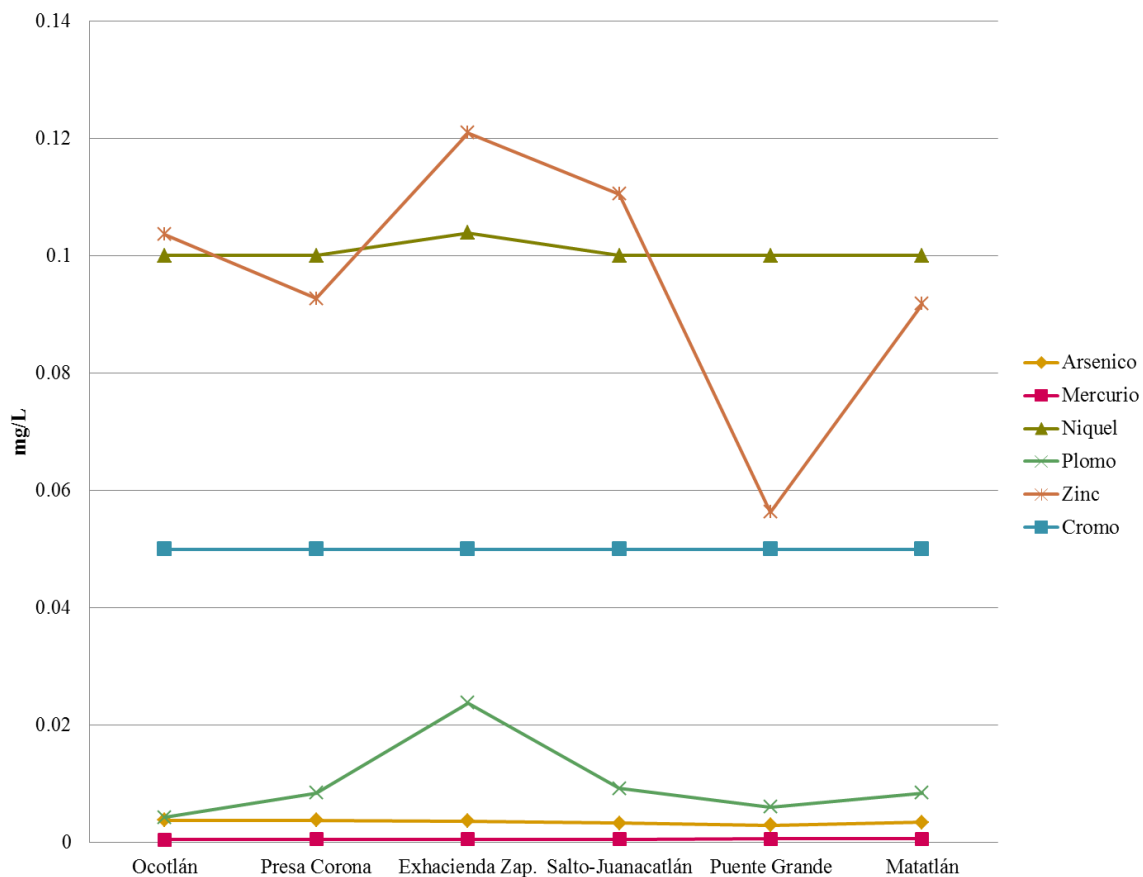


Figura 101. Concentraciones de metales pesados durante 2013 en los municipios de estudio (2009-2015).

Tabla 11. Límites máximos permitidos de metales en aguas residuales para la protección de la vida acuática, establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM 001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Metal/ compuesto	LMP (mg/L)	Metal/ compuesto	LMP (mg/L)	Metal/ compuesto	LMP (mg/L)
Arsénico	0.1	Plomo	0.2	Níquel	2
Mercurio	0.005	Zinc	10	Cromo	0.5

MORTALIDAD POR ENFERMEDADES ASOCIADAS A LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

En este trabajo se consideraron 28 enfermedades, algunas de ellas son multifactoriales; sin embargo, también se encuentran recurrentemente en zonas con altos niveles de contaminación. Por lo anterior, no se puede establecer un vínculo directo entre la incidencia de algunas enfermedades y la exposición a contaminantes. El primer grupo obtenido a partir de la integración de defunciones por causa específica corresponde a las enfermedades gastrointestinales (Fig. 11). Se encontró que Tonalá presentó defunciones durante todo el período de estudio, mismas que mantuvieron tasas entre 0.398 y 3.23; en particular se observó, de 2009 en adelante, un ligero incremento, pero la Tasa de Mortalidad por causa Específica se mantuvo por debajo de la tasa estatal. Los siguientes municipios con más años de incidencia fueron Poncitlán y El Salto, en los que se presentaron tasas cambiantes durante 16 años; en Poncitlán las tasas obtenidas fueron de entre 1.97 (2013) y de 12.18 (2001), y también en este municipio, se presentaron las tasas más altas durante el periodo 2001-2007. En El Salto, las tasas obtenidas estuvieron dentro del intervalo de 0.661 (2013) a 5.54 (2000). Por otra parte, en el municipio de Ocotlán, la tasa de mortalidad sólo se obtuvo de 2012 a 2015; en el último año se observó un drástico aumento de mortalidad, pues pasó de 3.09 a 10.22; mientras que Juanacatlán sólo presentó mortalidad por este grupo de enfermedades en 1998, 2008 y 2012, las tasas obtenidas fueron entre 6.85 y 14.55; el último año fue el de la tasa de mortalidad más alta.

Los resultados para el estado de Jalisco muestran que de 1999 a 2010, la tasa de mortalidad por causa específica (TME) tendió a disminuir, pero de 2011 a 2015 aumentó nuevamente; aun así, la tasa de 1999 (3.14) ha sido la más alta durante el periodo de estudio. En general, en los municipios de estudio se observó que las tasas más altas de mortalidad por dicho grupo de enfermedades ocurrieron entre 1999 y 2003, de tal forma que de 2004 a 2015 mostraron tendencia a disminuir, salvo en las excepciones ya mencionadas.

En particular se observa que los municipios de Ocotlán, Poncitlán, El Salto y Juanacatlán, en los últimos años presentan TME por arriba del promedio estatal.

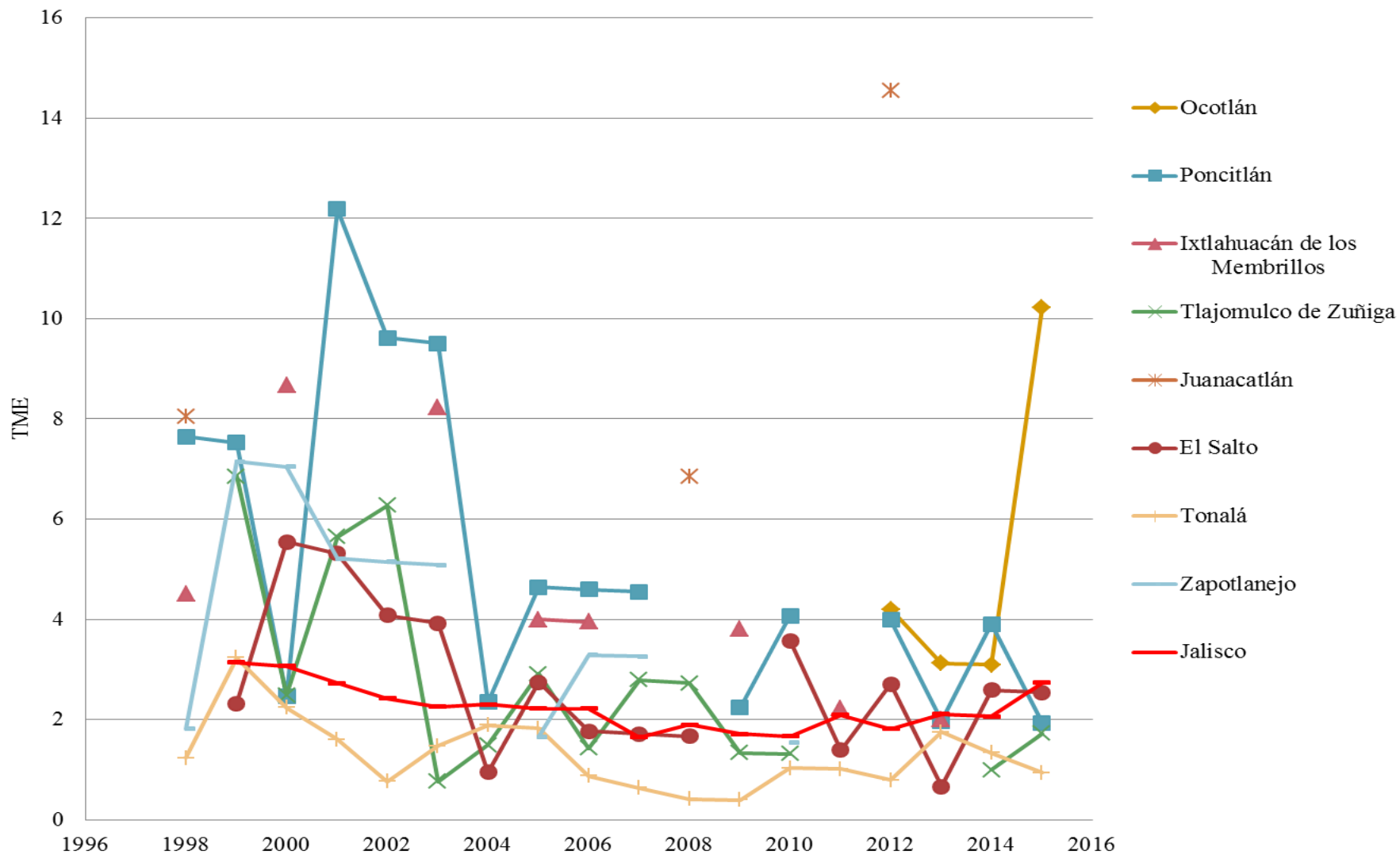


Figura 11. Tasas de mortalidad por causa específica (TME) por enfermedades gastrointestinales, de 1998 a 2015.

El segundo grupo de enfermedades corresponde al cáncer, el cual se agrupó en catorce tipos distintos (Tabla 12, Fig. 12). En este caso, se registraron defunciones por cáncer para los nueve municipios contemplados, con excepción de Juanacatlán y Zapotlán del Rey, cuyas tasas se mantuvieron con variaciones, es su mayoría drásticas, durante los 18 años de estudio.

Para el municipio de Ocotlán, se obtuvieron tasas en el rango de 13.76 a 69.53, pero hay una tendencia generalizada, se observó que, a partir de 2011, la TME ha ido aumentando, con 2015 como el año con la mayor TME del periodo. Por otra parte, las tasas obtenidas para Poncitlán oscilaron entre 13.42 y 37.16, las cuales a partir de 2006 se reducen respecto a los años anteriores; particularmente de 2011 a 2014 tendió a disminuir. Sin embargo, para 2015 la tasa de mortalidad aumentó drásticamente. Para Zapotlán del Rey, solo hay registros de defunciones por algún tipo de cáncer de 1999 a 2005 y 2007, teniendo así TME de entre 12.58 y 38.44, particularmente se observó decremento a partir de 2002. Respecto a Ixtlahuacán de los Membrillos se obtuvieron tasas que van de 8.40 a 34.67, se observó que hasta 2008 la TME iba en aumento, pero a partir de 2009 la tasa de mortalidad tendió a disminuir. Por otro lado, las TME para Tlajomulco de Zúñiga fueron de entre 10.66 y 33.47; este sitio mostró un comportamiento similar al del municipio antes descrito, dado que hasta 2009 la tasa de mortalidad por cáncer iba en aumento; no obstante, a partir de 2010 la TME disminuyó considerablemente, teniendo un leve incremento hacia 2014 y 2015. Otro de los municipios que no presentaron defunciones durante todo el periodo de estudio fue Juanacatlán, en donde el rango de TME obtenido fue de 7.34 a 44.24; en este caso y de acuerdo con lo reportado por la Secretaría de Salud, en 2010 y 2015 no se presentaron defunciones por algún tipo de cáncer. Sin embargo, las tasas obtenidas hasta 2007 iban en aumento, mientras que, a partir de 2012, nuevamente se mostró que año con año decrecían. Para el caso del El Salto se pueden identificar dos periodos: el primero, de 2001 a 2009 en donde las TME de entre 15.93 y 30.71, mostraban tendencia al aumento y el segundo de 2010 a 2015, en el cual las tasas (14.56 a 23.14) disminuyeron hasta ser similares e incluso menores a las presentes antes del año 2000 (15.51). Tonalá por su parte, presentó TME de 12.12 a 17.75. No obstante, dichas tasas han tenido un aumento paulatino en la mayoría de años. Para Zapotlanejo solo se obtuvo la TME de 1998 a 2010, con un rango de 16.59 a 46.31.

En cuanto al estado de Jalisco, se obtuvo que la TME ha tenido un leve aumento año con año, desde 23.34 hasta 26.61. En general se observó que las mayores tasas de mortalidad por cáncer en la zona de estudio se dieron entre 2001 y 2009, durante este periodo todos los municipios con excepción de Tonalá rebasaron el promedio estatal.

En los municipios de Ocotlán, El Salto y Tlajomulco de Zúñiga se encontró reporte de defunciones por tumores malignos de mama en varones.

Tabla 12. Tipos de cáncer seleccionados en este trabajo.

Tumor maligno de otras partes y de las no especificadas de la lengua	Melanoma maligno de la piel
Tumor maligno de la encía	Otros tumores malignos de la piel
Tumor maligno de otras partes y de las no especificadas de la boca	Tumor maligno de la mama
Tumor maligno de la glándula parótida	Tumor maligno de la próstata
Tumor maligno de otros sitios y de los mal definidos del labio, de la cavidad bucal y de la faringe	Tumor maligno del riñón, excepto de la pelvis renal
Tumor maligno de la laringe	Tumor maligno de la glándula tiroides
Tumor maligno de los bronquios y del pulmón	Leucemia (incluye linfoide y mieloide)

Enfermedades como púrpura y otras afecciones hemorrágicas, constituyen el tercer grupo de enfermedades analizado. En este caso, los únicos municipios en donde se presentaron defunciones por este grupo de enfermedades fueron Ocotlán (tasas entre 1.05-3.23, Tlajomulco de Zúñiga (0.20 y 1.56) y Tonalá (0.19 a 0.42). Los datos obtenidos fueron inconsistentes, es decir, no se presentaron defunciones durante todo el período de estudio. En cuanto al estado en general, las tasas no muestran una tendencia clara y se mantuvieron entre 0.19 y 0.41.

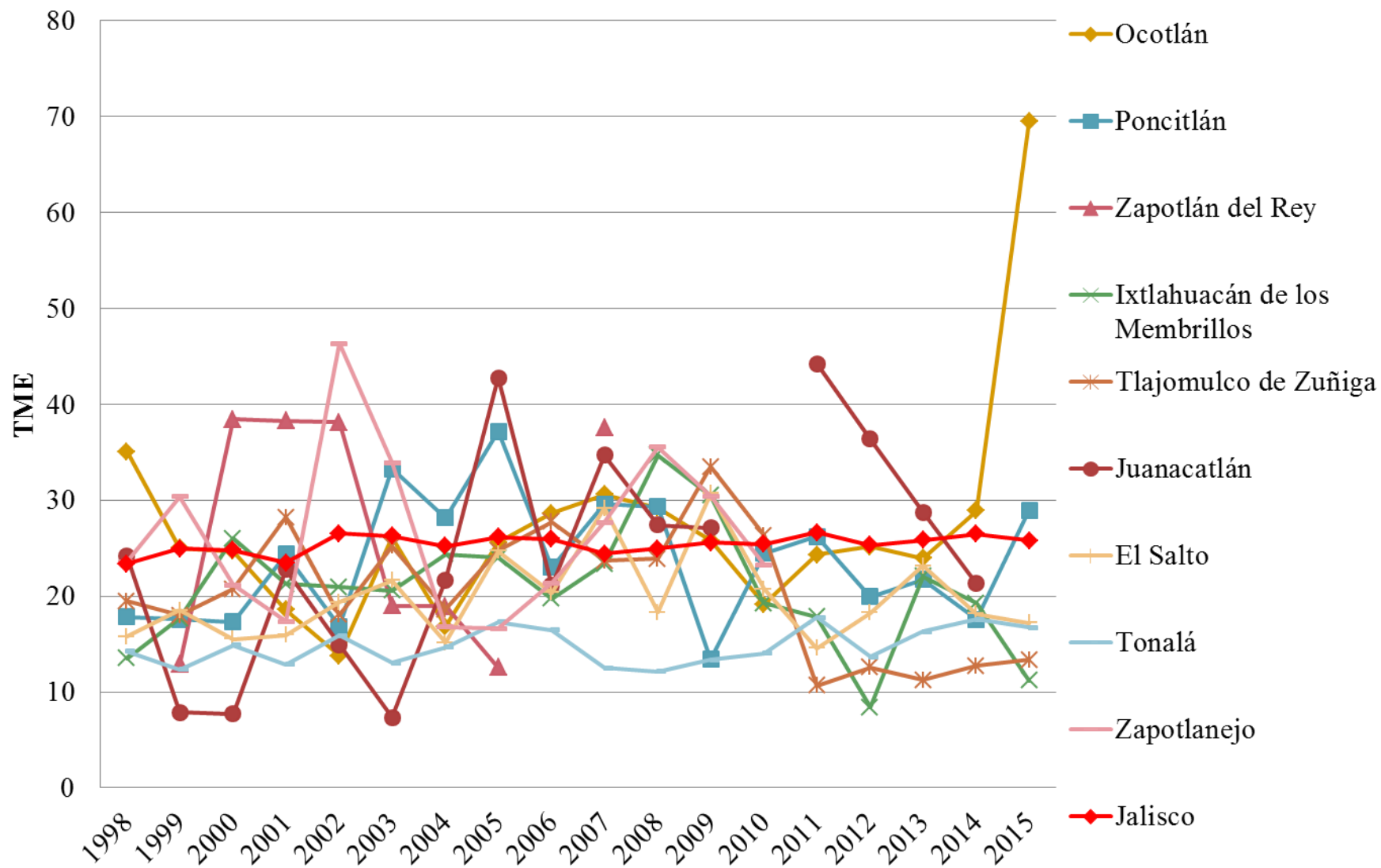


Figura 12. Tasas de mortalidad por causa específica (TME) por catorce tipos de cáncer de 1998 a 2015.

En cuanto a las enfermedades respiratorias (Fig. 13) las tasas obtenidas para Ocotlán (2.14-56.24) muestran una tendencia al aumento; no obstante, en 2009 disminuyó drásticamente, alcanzando así el valor más bajo del periodo. En el caso de Poncitlán, se aprecia que las tasas han ido aumentando de 17.84 hasta 40.56; las variaciones a través del tiempo han sido drásticas, por lo que no se puede establecer con claridad una tendencia. Para el municipio de Zapotlán del Rey, las tasas se muestran distintas, ya que las defunciones por dicho grupo de enfermedades sólo se presentaron la mitad del periodo de estudio y, al contrario de lo que se pudiese esperar, la mayor TME (81.58) se dio en 2006; el último año de registro. En lo que respecta a Ixtlahuacán de los Membrillos, las tasas obtenidas van de 12.76 a 35.73; en particular de 1998 a 2012, la tendencia iba en aumento, pero en 2013 se observó una drástica disminución, mientras que para los años siguientes nuevamente se registró aumento de la TME. Por su parte Tlajomulco de Zúñiga mantuvo tasas que van de 10.13 hasta 30.13. Se observó que hacia 2009 las tasas de mortalidad iban en aumento, pero a partir de 2010 se mostró una clara tendencia al decremento. El municipio de Juanacatlán ha tenido cambios abruptos a lo largo de los 18 años analizados en este trabajo (tasas entre 6.77 y 63.16). En los últimos años se han observado tasas considerablemente mayores. En el municipio de El Salto, las tasas obtenidas van de 10.62 a 31.08, en este sentido, hacia 2005 había aumentado en general y a partir de 2006 han ido disminuyendo respecto a los años anteriores. En cuanto a Tonalá, se encontró que ha sido el sitio con las tasas más estables a lo largo del tiempo, pues en los 18 años, en general se ha visto como la TME ha ido aumentando paulatinamente yendo de 9.45 a 17.79. Otro de los municipios en donde no hay registro de defunciones para todo el periodo de estudio es Zapotlanejo, sitio en donde los resultados llegan hasta 2010, en este caso de 1998 a 2001 las tasas iban en aumento, llegando hasta 50.37, pero a partir de 2002 la tasa comenzó a decrecer, teniendo como valor mínimo 24.21. Por último, para el estado de Jalisco se obtuvo que la TME presentó tendencia al aumento, pues la tasa ha ido de 23.01 a 32.36. En particular, solo Ocotlán, Poncitlán y Juanacatlán han rebasado la TME estatal, en los últimos años.

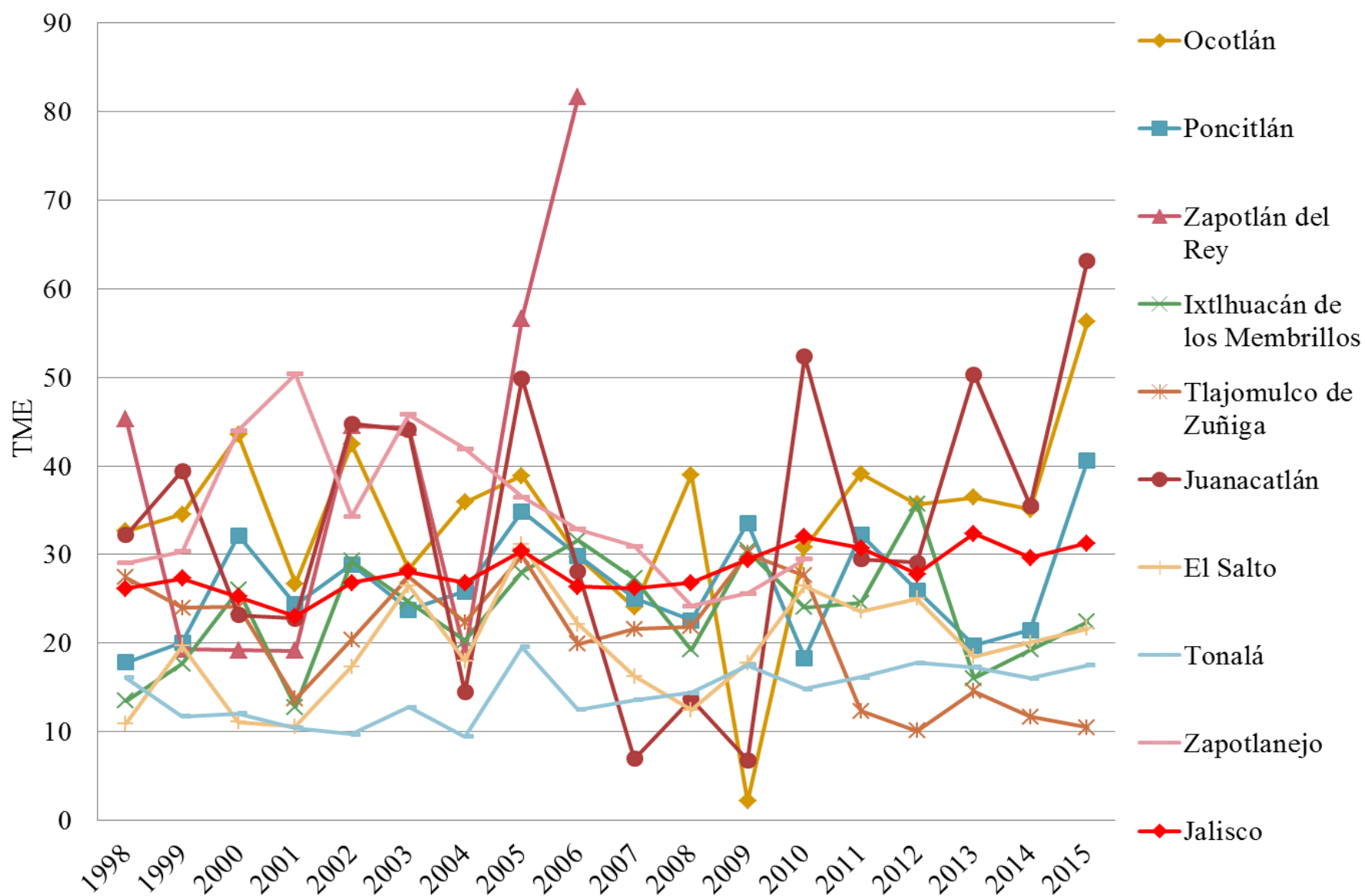


Figura 13. Tasas de mortalidad por causa específica (TME) por enfermedades respiratorias de 1998 a 2015.

El último grupo contemplado corresponde a insuficiencia renal crónica y no especificada (Fig. 14). Se obtuvieron datos para los nueve municipios de estudio; en el caso de Ocotlán, no se han encontrado tendencias específicas a lo largo del tiempo, las tasas han variado entre 2.32 y 56.24; en particular para 2015 la tasa tuvo un aumento drástico. En cambio, en Poncitlán, las tasas obtenidas fueron de entre 2.32 y 21.95; hasta 2010 las tasas iban en aumento, pero en los años siguientes los valores fueron disminuyendo, aun así la TME se ha mantenido con valores mayores que al inicio del periodo de estudio. Zapotlán de Rey, por su parte, sólo presentó tasas de mortalidad por estas enfermedades durante ocho años, de los cuales sólo tres fueron constantes. En general, no se puede apreciar alguna tendencia, pues los valores se mantuvieron entre 5.35 y 16.69. Respecto al municipio de Ixtlahuacán de los Membrillos se observaron tasas de entre 2.10 y 17.34; en este sitio y hasta 2006, las TME iban en aumento; no obstante, de 2007 en adelante la tasa comenzó a disminuir, para posteriormente, a partir de 2013, aumentar nuevamente. En el caso de Tlajomulco de Zúñiga, las tasas obtenidas fueron de 6.39 a 21.03, registrando aumento hasta 2010 y en los años siguientes disminuir. En lo que respecta a Juanacatlán, sólo se calcularon tasas para 15 años, mismas que iban de 6.77 a 14.92. En particular de 2005 a 2010 no hubo cambios considerables. En el caso de El Salto, las tasas obtenidas fueron de 2.21 a 14.14 aunque el aumento no fue paulatino ni constante cada año, en general se observó que la TME ha ido aumentando con respecto a los primeros años contemplados en el periodo que este estudio analiza. En lo que respecta a Tonalá, las tasas abarcaron un rango de 6.80 a 11.34, y se observó que ha habido tendencia al aumento a través del tiempo. Para el caso de Zapotlanejo se logró calcular la tasa de mortalidad hasta 2010; al igual que en casos antes mencionados la TME tuvo cambios abruptos año con año y se mantuvo entre 1.76 y 13.96, siendo el último año el de la mayor TME.

Respecto al estado de Jalisco se encontró que parte del periodo estudiado la tasa iba en aumento, teniendo un valor inicial de 9.65 (1998) y un máximo de 13.31 en 2010, posteriormente la tasa ha disminuido levemente; en particular la TME estatal ha sido rebasada en los últimos años en los municipios de Ocotlán, Poncitlán, Zapotlán del Rey e Ixtlahuacán de los Membrillos.

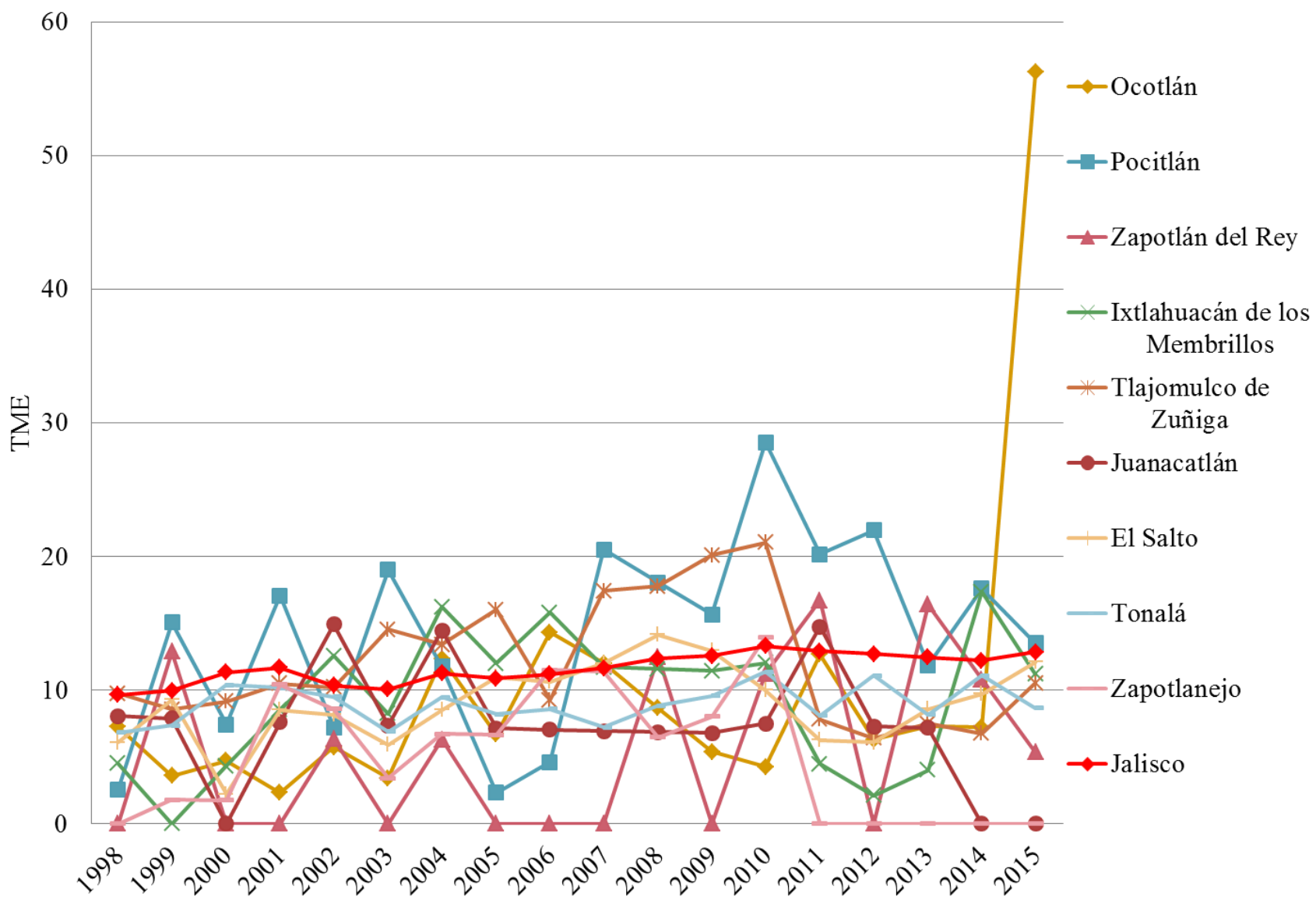


Figura 14. Tasas de mortalidad por causa específica (TME) por insuficiencia renal (aguda, crónica y no especificada), de 1998 a 2015.

Posteriormente, se calculó la proporción de defunciones que correspondía a cada grupo, se tomó como 100% únicamente a los cinco grupos de enfermedades mencionados anteriormente (Fig. 15). En todos los municipios, el cáncer ocupó la mayor proporción, en algunos casos por arriba del 50%; seguido de las enfermedades respiratorias. Lo anterior con excepción de Zapotlán del Rey, sitio en donde las proporciones de cáncer e insuficiencia renal fueron las mismas. Por otra parte, las enfermedades gastrointestinales correspondieron a la menor proporción de defunciones, alcanzando en el mayor de los casos (Zapotlán del Rey) únicamente 11%, y menos 10% en los demás municipios de estudio.

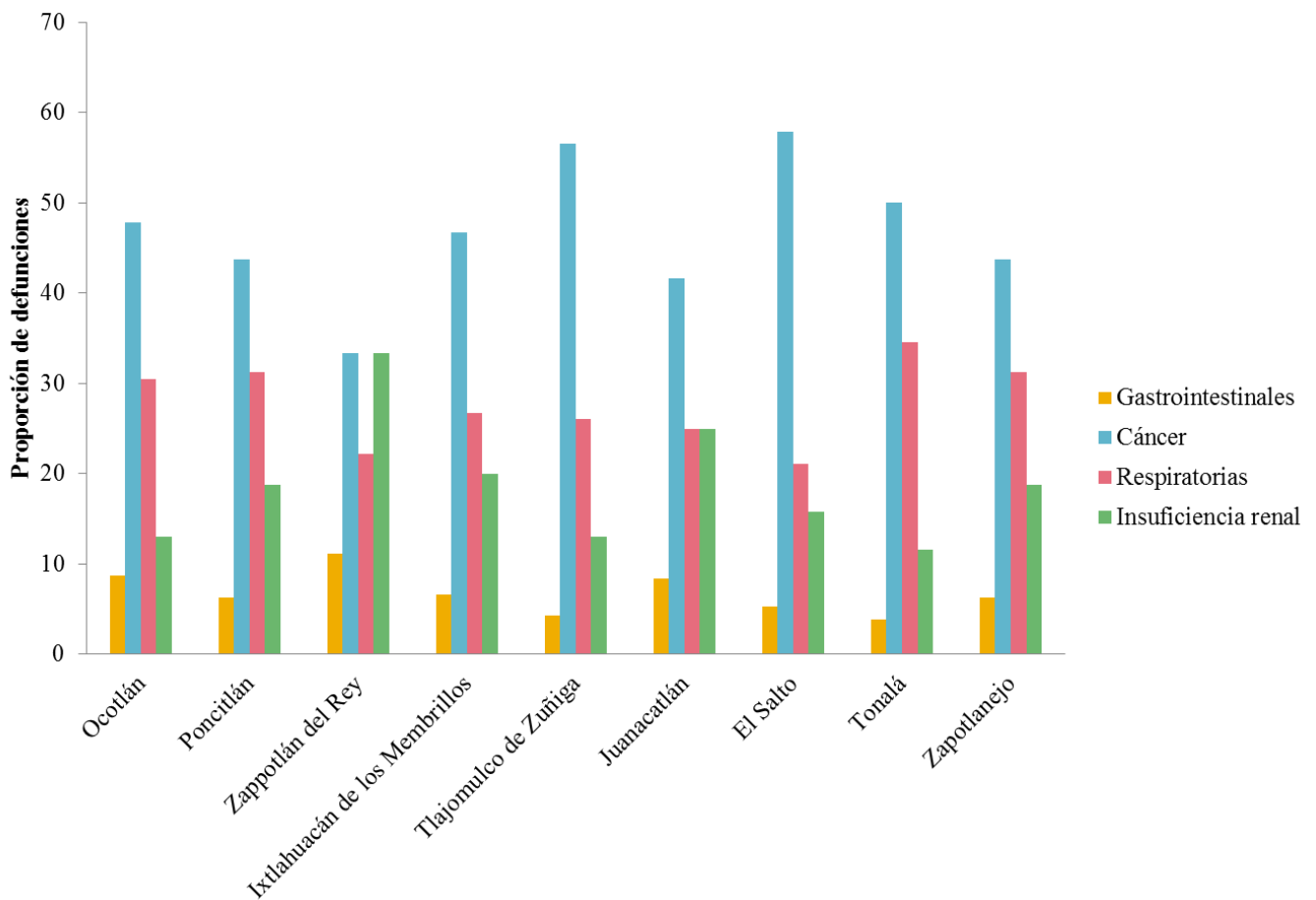


Figura 15. Proporción de defunciones por enfermedades asociadas a contaminación en la zona de estudio. De elaboración propia con base en las tasas de mortalidad por causa específica obtenidas en este trabajo.

Al realizar el ajuste de las tasas (Ecuación 2), en lo que respecta al grupo de enfermedades gastrointestinales, se obtuvo que Tonalá fue el municipio con las tasas más altas, seguido de Tlajomulco de Zúñiga, El Salto, Poncitlán, Zapotlanejo, Ixtlahuacán de los Membrillos, Juanacatlán y Ocotlán (Fig. 16). En general, se observó que la tasa de mortalidad ha disminuido en la mayoría de sitios de estudio; sin embargo, en el caso de Tonalá, en los últimos años hay una tendencia al incremento de la TME.

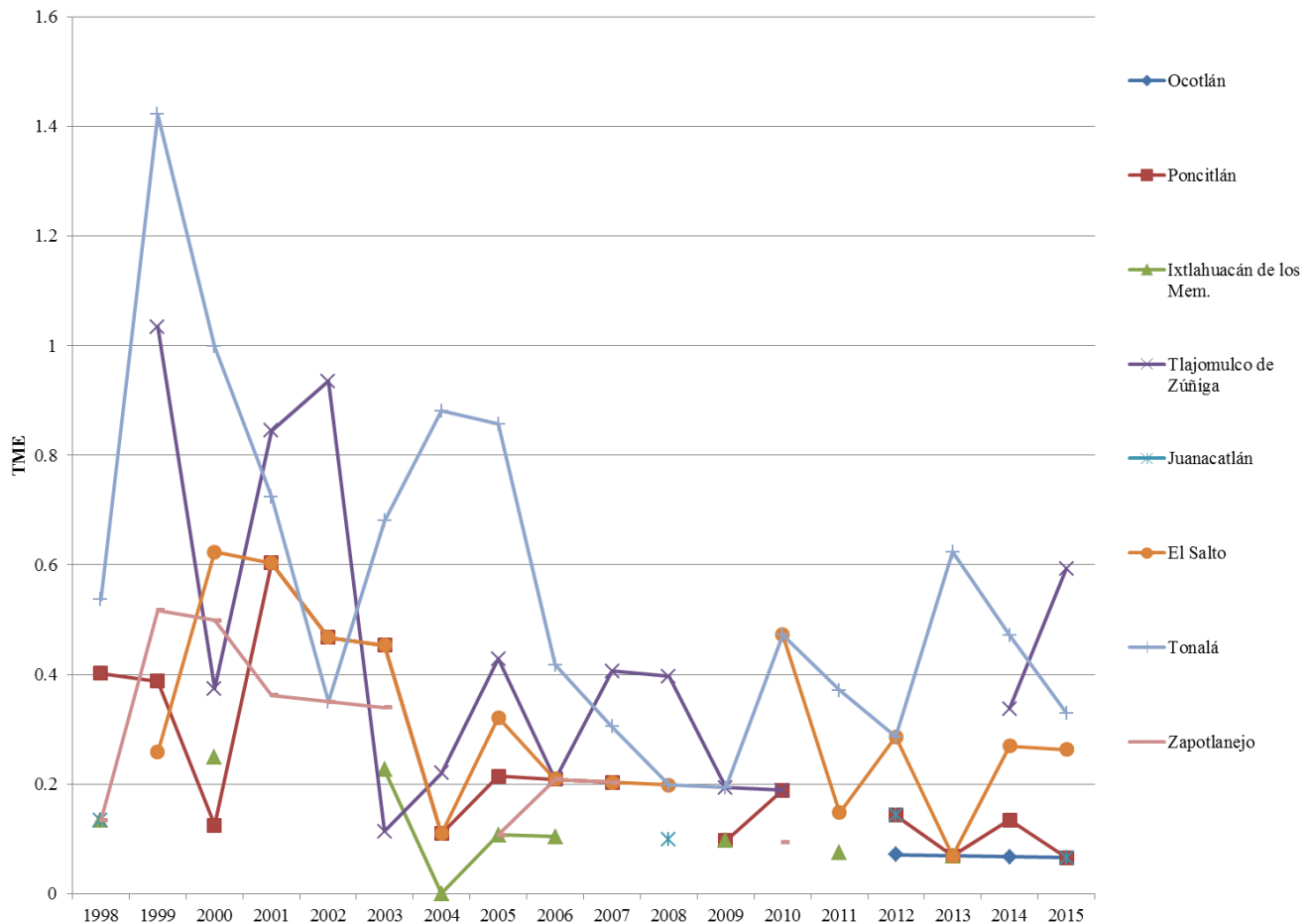


Figura 16. Tasas ajustadas de mortalidad por causa específica (TME), por enfermedades gastrointestinales 1998-2015.

En cuanto a las tasas ajustadas de mortalidad por cáncer, Tonalá tuvo la TME más alta de la zona de estudio, seguida de Tlajomulco de Zúñiga, El Salto, Ocotlán, Zapotlanejo, Poncitlán, Ixtlahuacán de los Membrillos, Juanacatlán y Zapotlán del Rey (Fig. 17). En general, se observa un decremento de la TME en Tonalá a partir de 2006 y en El Salto a partir de 2010. Otros municipios que mostraron decremento en la tasa en los últimos años fueron Zapotlanejo, Poncitlán y Juanacatlán. Por el contrario, en Ocotlán a partir de 2006 y en El Salto a partir de 2010, la tasa aumentó casi tres unidades de magnitud de un año a otro, mientras que en Tlajomulco de Zúñiga la TME ha tendido a aumentar en los últimos años.

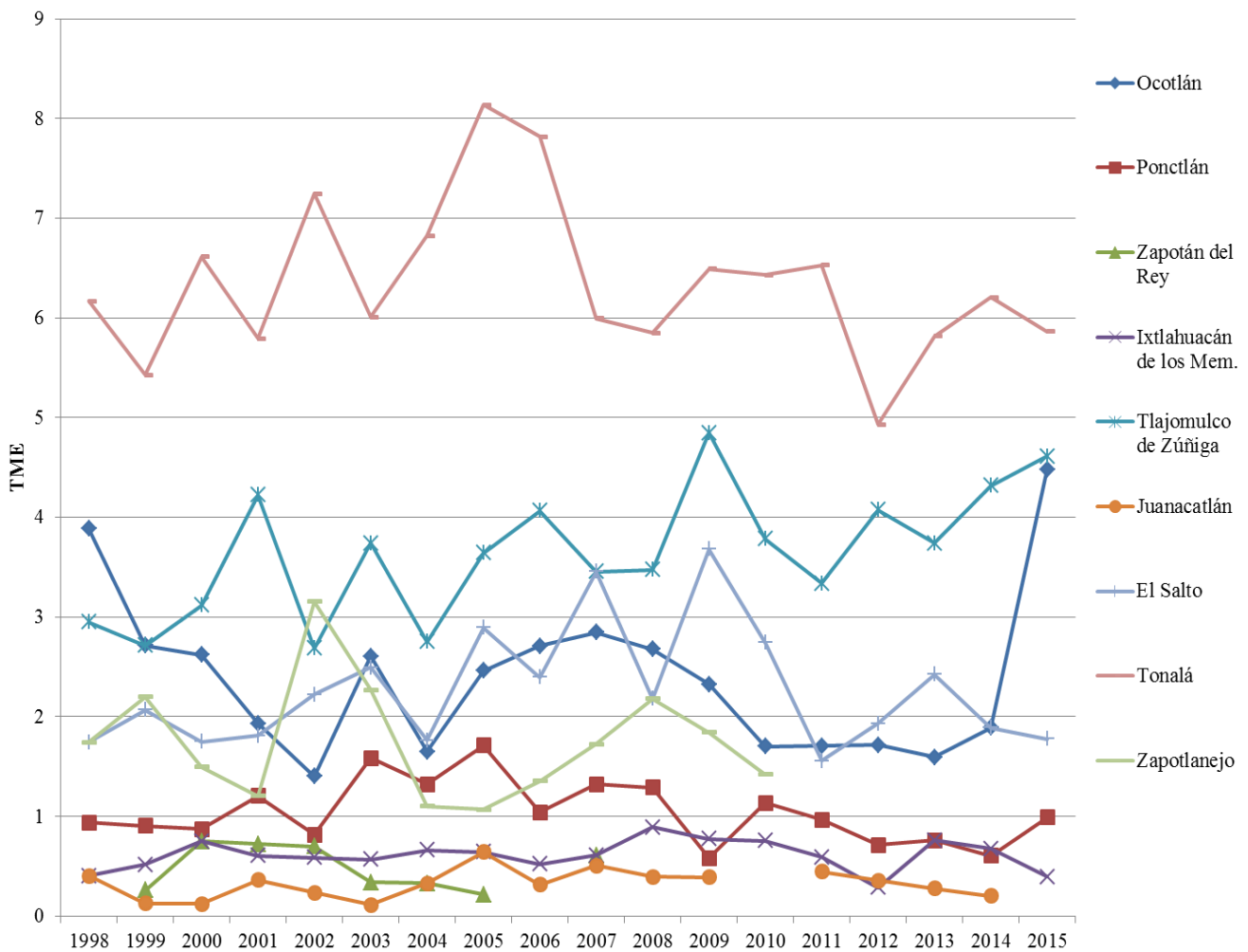


Figura 17. Tasas de mortalidad por causa específica (TME) ajustadas, por 14 tipos de cáncer de 1998 a 2015.

Respecto a las enfermedades respiratorias, el municipio con la tasa ajustada de mortalidad más alta nuevamente fue Tonalá, en orden descendente le siguió Tlajomulco de Zúñiga, Ocotlán, El Salto, Zapotlanejo, Poncitlán, Ixtlahuacán de los Membrillos, Juanacatlán y Zapotlan del Rey (Fig. 18). En general, se observó que en Ocotlán, Poncitlán, El Salto, Tonalá y Zapotlanejo la TME ha disminuido en los últimos años. Por el contrario, en Ixtlahuacán de los Membrillos y Tlajomulco de Zúñiga dicha tasa ha aumentado, mientras que en el caso de Juanacatlán la tasa de mortalidad se ha mantenido sin variaciones importantes.

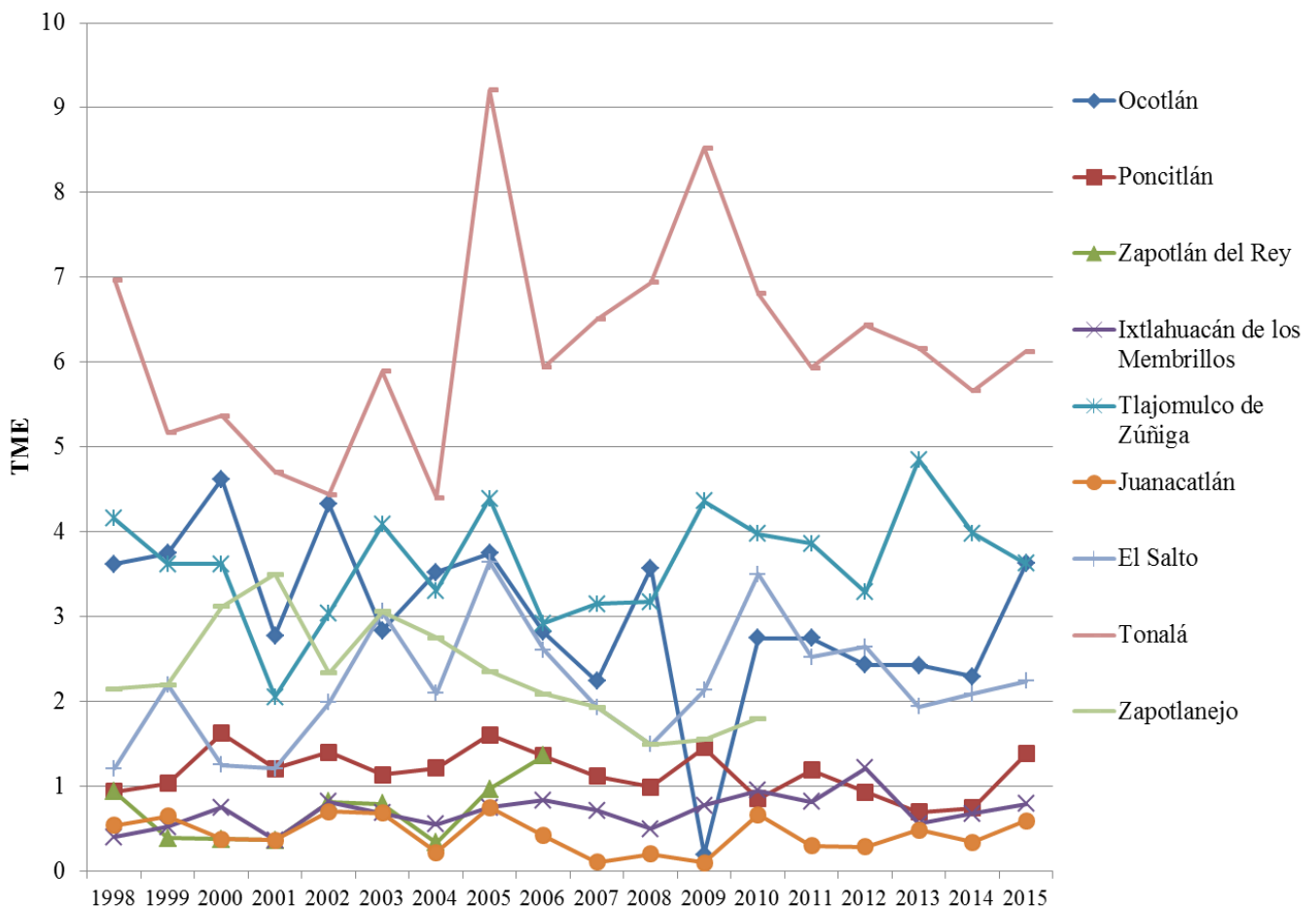


Figura 18. Tasas de mortalidad por causa específica (TME) ajustadas, por enfermedades respiratorias de 1998 a 2015.

Finalmente, para el grupo de insuficiencia renal, las tasas ajustadas mostraron que Tonalá es el municipio con mayor mortalidad por dicha causa, seguido de Tlajomulco de Zúñiga, El Salto, Ocotlán, Poncitlán, Zapotlanejo, Ixtlahuacán de los Membrillos, Juanacatlán y finalmente Zapotlán del Rey (Fig. 19). En este sentido se observó que en Ocotlán y Tonalá han disminuido en los valores de la TME, por el contrario, Ixtlahuacán de los Membrillos, Tlajomulco de Zúñiga y El Salto han tenido un claro aumento a través del tiempo. En lo que respecta a Poncitlán, hasta 2010, la TME iba en aumento, no obstante, a partir de ese año la TME comenzó a disminuir alcanzando valores similares a los reportados para el año 2000. Por último, Juanacatlán mostró un comportamiento similar pues sus tasas se mantuvieron estables a través del tiempo.

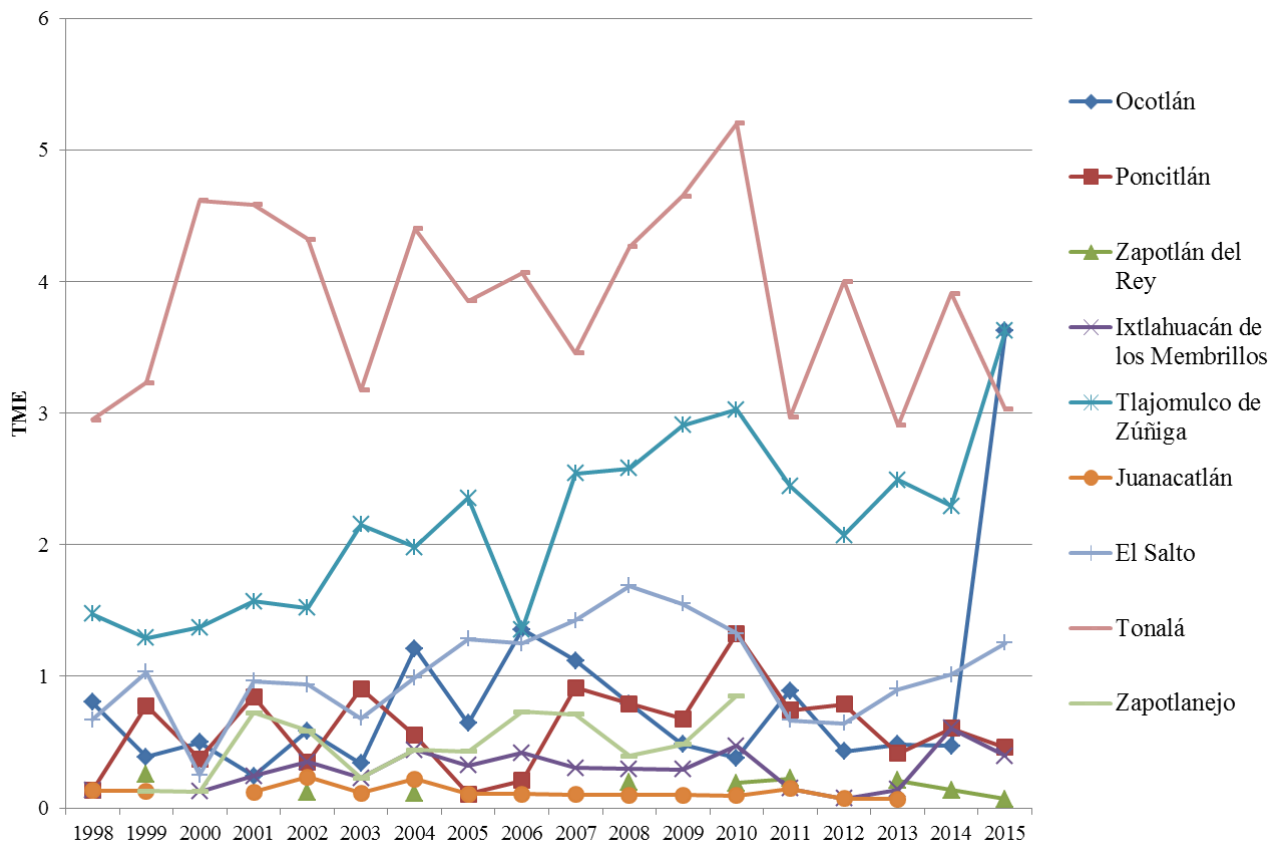


Figura 19. Tasas de mortalidad por causa específica (TME) ajustadas, por enfermedades respiratorias de 1998 a 2015.

El análisis geoespacial mostró que el grupo de enfermedades gastrointestinales presentó las tasas de mortalidad más bajas, mientras que el grupo de cáncer y enfermedades respiratorias presentó las tasas más altas (Fig. 20). En general, se observó que, en el caso de enfermedades gastrointestinales, se ha dado la reducción, tanto en las tasa como en los sitios de mayor incidencia; para el año 2000, Tonalá, Zapotlanejo, El Salto, Tlajomulco de Zúñiga e Ixtlahuacán de los Membrillos eran los municipios con mayor incidencia de mortalidad, mientras que para 2012 unicamente Tonalá y El Salto presentaban una tasa mayor a la del resto de sitios; sin embargo, para 2015 la incidencia no se redujó por el contrario además de los dos municipios mencionados, en Tlajomulco de Zúñiga la TME aumentó drásticamnente, convirtiendose en el sitio con mayor mortalidad por enfermedades gastrointestinales.

En lo que respecta a las tasas de mortalidad por los tipos de cáncer seleccionados, se observó que para 2000, Tonalá, Tlajomulco de Zúñiga, El Salto, Zapotlanejo y Ocotlán eran los municipios con mayor mortalidad. Para 2015, Tonalá y Tlajomulco de Zúñiga presentaron las mayores TME, en El Salto y Zapotlanejo las tasas disminuyeron, pero en Juanacatlán y Ocotlán aumentaron respecto a los primeros años de estudio.

La mortalidad por enfermedades respiratorias también mostró variaciones: en 2000, los municipios con las TME más altas eran Tonalá Ocotlán, Zapotlanejo, Tlajomulco de Zúñiga y Poncitlán. Para 2015, en Tonalá y El Salto la mortalidad aumentó, en Zapotlanejo y Ocotlán disminuyó, y en Tlajomulco de Zúñiga se mantuvo dentro del mismo rango durante todo el período de estudio.

Por último, en el caso de mortalidad por insuficiencia renal se observó que en general hubo aumento en la mortalidad en 2000; los municipios con mayores tasas eran Tonalá y Tlajomulco de Zúñiga, mientras que para 2015 los sitios con mayor TME fueron Tlajomulco de Zúñiga, Ocotlán, Tonalá y El Salto; sin embargo, Tonalá fue el único municipio con reducción en el rango de mortalidad.

En general se observa que en el área de estudio, la zona con las mayores tasas de mortalidad por el conjunto de enfermedades analizadas se encuentra conformada por los municipios de Tlajomulco de Zúñiga, El Salto y Tonalá; adicionalmete, en Ocotlán también se ha observado aumento drástico en las TME.

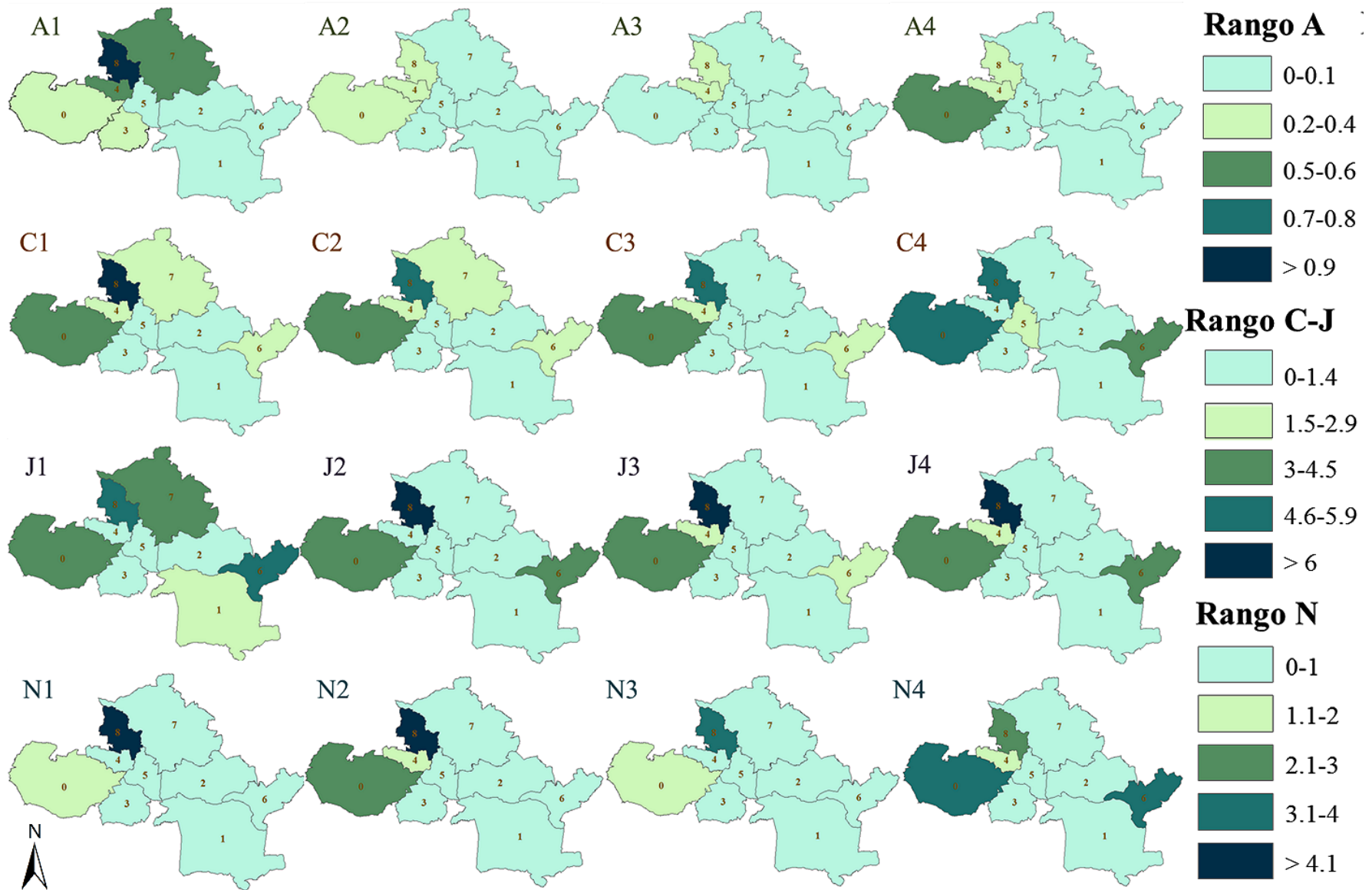


Figura 20. Mortalidad por enfermedades asociadas a sitios contaminados, en cuatro años específicos. En donde A= Enfermedades gastrointestinales, C= 14 tipos de cáncer, J= Enfermedades respiratorias y N= Insuficiencia renal; Años: 1= 2000, 2= 2008, 3= 2012 y 4= 2015; Municipios: 0= Tlajomulco de Zúñiga, 1= Poncitlán, 2= Zapotlán del Rey, 3= Ixtlahuacán de los Membrillos, 4= El Salto, 5= Juanacatlán, 6= Ocotlán, 7= Zapotlanejo y 8= Tonalá.

DISCUSIÓN

La salud de una población depende de un conjunto de interrelaciones entre los individuos y su entorno, las cuales incluyen componentes biológicos y ambientales, además de hábitos y estilos de vida (Roa y Pescador, 2016). En este trabajo, como caso de estudio, se analizó el comportamiento de las tasas de mortalidad de las comunidades asentadas a lo largo del Río Grande de Santiago en Jalisco, en un período de 17 años. Se evaluaron los aspectos de salud en relación con la calidad del agua del río Santiago y las emisiones de contaminantes de las industrias establecidas en la zona de estudio.

La zona de estudio ha sido un lugar de gran importancia para la industria mexicana desde inicios de 1900. Actualmente cuenta con alrededor de nueve parques industriales que desarrollan actividades industriales de 14 tipos, entre las que destacan algunas de las más contaminantes, como la de alimentos, la metalúrgica y la química-farmacéutica (Partida, 2002 y Jiménez et al., 2010). Esta actividad ha tenido un gran impacto ambiental en la zona, con repercusiones en la calidad del agua del río y en la salud de los pobladores, situación que se ha denunciado reiteradamente, tanto a nivel nacional como internacional.

Reporte de la contaminación en el río Santiago

Los datos del RETC muestra que en la zona se emiten un total de 38 sustancias químicas, de las cuales nueve están clasificadas como potencialmente cancerígenas para el humano, 11 como posiblemente cancerígenas, cuatro no están clasificadas y de 14 no se tiene información (IARC, 2017; Tabla 13). Lo anterior contrasta con lo que ha reportado el IMTA, ya que en el estudio que realizó entre 2007 y 2011 en el Río Grande de Santiago, reportó 1090 sustancias proveniente de 300 industrias (Naciones Unidas, 2016).

Tabla 13. Clasificación de acuerdo con la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC, 2018).

Sustancia reportada	Clasificación IARC	Sustancia reportada	Clasificación IARC
Acetaldehído	2B	Diclorodifluorometano	-
Ácido sulfhídrico	-	Diisocianato de difenilmetano polimérico	-
Acrilamina	2A	Dioxinas	-
Acrilonitrilo	2B	Endosulfan	-
Acroleína	3	Epiclorhidrina	2A
Arsénico	1	Furanos	-
Asbesto	1	Hidrofluorocarbonos	-
Benceno	1	Estireno (fenil etileno)	2B
Bifenilos policlorados	1	Formaldehído	1
Bióxido de carbono	-	Mercurio	3
Bióxido de nitrógeno	-	Metano	-
Cadmio	1	Metil paration	3
Cianuro	-	Níquel	2B COMP. 1
Clorodifluorometano (HCFC-22)	3	Óxido nitroso	-
Cloroformo	2B	Pentaclorofenol	1
Clorometano	-	Piridina	2B COMP. 2A
Clorpirifos	-	Plomo	2B
Cloruro de metileno	2A	Tricloroetileno	1
Cromo	1 (Cromo IV)	Triclorofluoroetano	-

En donde 1= potencialmente cancerígeno, 2 A y B= probablemente cancerígeno, 3= No clasificado y “-“= sin información.

Comportamiento de la calidad del agua del río Santiago

Existen diversos indicadores que pueden ser utilizados para el monitoreo de la calidad del agua; sin embargo, estos deben ser utilizados con cautela debido a que en más de un caso han sido diseñados para zonas con ciertas características, de modo que, si se emplean en sitios distintos, pueden tender al enmascaramiento de resultados (Samboni et al., 2007). Asimismo, se debe contemplar que, a pesar de que la tecnología actual permite eliminar cualquier compuesto tóxico en el agua, siempre existen limitaciones, ya que mientras el tamaño de la molécula de los contaminantes es menor el costo y la dificultad para eliminarlos de los cuerpos de agua aumenta, al tiempo que la confiabilidad del proceso de tratamiento tiende a disminuir (Jiménez, 2010). En el caso de este estudio y para abordar el segundo objetivo particular, se tomaron cuatro indicadores de calidad de agua, mismos que son monitoreados en los cuerpos de agua superficiales en el país.

En el caso de la megaplanta de tratamiento “El Ahogado” y de las demás existentes en la zona de estudio, las cuales vierten agua tratada a los caudales que desembocan al río Santiago, se aplica un tratamiento secundario basado en procesos biológicos. El más utilizado es el de lodos activados (CEA

Jalisco, 2012); de esta forma, se remueven los sólidos de mayor tamaño y la materia orgánica biodegradable, además de nitrógeno y fósforo (Jiménez, 2010; CEA Jalisco, 2012). No obstante, el proceso no es capaz de eliminar las sustancias químicas peligrosas, ni los metales pesados del agua; y si los lodos no son tratados en apego a lo establecido en normas nacionales e internacionales, tienden a contener patógenos como huevos de helminto, que constituyen un factor de riesgo adicional para las personas que habitan en los alrededores de las plantas de tratamiento de agua residual.

En cuanto al parámetro oxígeno disuelto, entre 2004 y 2012 se mantuvo por debajo del límite recomendado para la protección de la vida acuática (5 mg/L), oscilando entre <1 y 2.3 mg/L (Arellano-Aguilar et al., 2012 b); sin embargo, al analizar los datos de todos los puntos de muestreo, en los últimos años, se nota que a pesar de que el OD sigue sin ser el recomendado, en 2013, 2014 y 2015 aumentó sensiblemente; de tal forma que los valores actuales se encuentran entre 2.3 y 4 mg/L. Lo anterior, debería resultar benéfico para el cuerpo de agua, ya que la asimilación de OD se asocia con el restablecimiento de la dinámica del río, misma que depende entre otros factores, del balance entre la remoción de oxígeno (O₂) por oxidación bioquímica de la materia orgánica y por la incorporación de O₂, debido a la re-aireación atmosférica y a la actividad fotosintética (Monte, 2013).

Los resultados obtenidos también muestran que, a partir de 2012 hubo una disminución en la medición de DBO, posiblemente debido a la acción de la planta de tratamiento inaugurada en ese año, pues hasta antes de su establecimiento y, de acuerdo con lo reportado por Arellano-Aguilar et al (2012 b), los valores de las mediciones iban en aumento. Según lo publicado por la CONAGUA (2015), este parámetro estaría mostrando que la calidad del agua del río habría alcanzado un valor aceptable. Cabe mencionar que la DBO mide la materia orgánica que es susceptible a descomponerse por medios biológicos, por lo que se encuentra relacionada con las descargas municipales en los cuerpos de agua (CONAGUA, 2015).

Por otra parte, la DQO está relacionada con las descargas que realizan las industrias a los cuerpos de agua, debido a que mide la cantidad de materia orgánica que es degradada por medios químicos (CONAGUA, 2015). Los resultados obtenidos en el estudio de Arellano-Aguilar et al. (2012b), mostraron que hacia 2012, la DQO iba en aumento, rebasando en todos los casos el límite máximo permitido. En este estudio, el análisis de las mediciones arrojó que en los tres últimos años de estudio hubo decremento en los valores obtenidos, lo cual posiblemente vuelve a estar relacionado con la Planta de Tratamiento El Ahogado. No obstante, a pesar de la disminución de la DQO, el límite

máximo permitido se sigue rebasando en todas las estaciones de monitoreo; lo cual indica que las descargas industriales al río siguen llevándose a cabo de forma descontrolada y, muy posiblemente, sin tratamiento previo. Con base en este parámetro y con lo publicado por CONAGUA (2015), el agua del río se encuentra contaminada.

De acuerdo con el monitoreo que realiza la CEA Jalisco, la medición de metales pesados no muestra variación alguna a través del tiempo. En cambio, los datos del RETC muestran que en la zona la industria reporta descargas de cromo, níquel y plomo por arriba de más de 10 ton/año. Además, en Arellano-Aguilar et al. (2012b) se reportó que el Al, Cu, Cr, Fe, Hg y Zn se encontraban en el límite permitido o rebasándolo en diferentes medidas.

Debido a su peso molecular, los metales pesados tienden a migrar al fondo del río; de tal forma que los sedimentos actúan como sumideros y son ampliamente conocidos como posibles fuentes de metales pesados en los sistemas acuáticos (Genc y Yilmaz, 2018). Asimismo, se ha comprobado que en orden descendente los sedimentos, seguidos de los tejidos de peces (en caso de haber) y finalmente la columna de agua, son los sitios en donde se encuentra la mayor concentración de dichos elementos, emitidos al medio acuático (Wu et al., 2016). Lo anterior resulta importante para considerar en la planeación del monitoreo ambiental puesto que son los sedimentos en donde se podrían reflejar la acumulación de metales pesados del río Santiago; es decir, el monitoreo debe realizarse con base en la columna de agua y en los sedimentos, y no sólo la primera, que ha sido la única considerada en las mediciones realizadas hasta 2015.

Considerando únicamente los parámetros analizados hasta aquí, podría pensarse que la calidad del agua de río Santiago ha mejorado en los últimos años; sin embargo, de acuerdo a algunos autores y a la experiencia de la sociedad civil, este sitio se ha mantenido fuertemente contaminado durante más de cinco décadas, de forma que es uno de los sitios con mayor polución a nivel nacional (Arreguín et al., 2010; Jiménez et al., 2010, Arellano-Aguilar et al., 2012 a y b, y CEA Jalisco, 2012). Asimismo, en 2016, el grupo de trabajo de las Naciones Unidas reportó en el dictamen de su visita la presencia de espuma y olores fétidos en la cascada de El Salto-Juanacatlán (Naciones Unidas, 2016). Lo anterior, es un indicio más de que los procesos de tratamiento siguen sin ser los adecuados en cuanto al método aplicado en la zona, el cual incluye la cantidad de agua tratada en el sitio.

Queda claro que el uso de los parámetros utilizados en este estudio se ha popularizado en diversos países, de tal forma que es común encontrar reportes de calidad de agua basados únicamente en el uso de unos pocos; no obstante, vale la pena preguntarse si los parámetros utilizados para el monitoreo en México y específicamente en este lugar, son los más adecuados, considerando el contexto de la zona.

El tipo de tratamiento más eficaz para esta región debe establecerse con base en los aspectos técnicos, económicos, sociales y políticos específicos para la zona (Jiménez, 2010). Algunos autores proponen que la omisión de los aspectos técnicos, socioeconómicos y políticos, así como la deficiencia en los mismos, incrementa la probabilidad de encontrar microorganismos patógenos (virus, bacterias, protozoarios y huevos de helminto) que son tolerantes al tratamiento de aguas residuales o que emergen debido al desarrollo de resistencia a antibióticos, por parte de ciertas bacterias. Además se pueden encontrar productos químicos tóxicos que inciden en aumentar la presencia, mutagenicidad o genotoxicidad de los microorganismos después de pasar por procesos no eficaces para su eliminación (Ohe et al., 2004; Mazari-Hiriart et al., 2010; Niazi et al., 2015 y Landrigan et al., 2017).

Comportamiento de la mortalidad en las comunidades afectadas por la contaminación

Para abordar el tercer objetivo particular se analizaron las tasas de mortalidad por causa específica. Los municipios analizados cuentan con índices de desarrollo altos y niveles de marginación bajos, por lo que se esperaría que la mortalidad estuviese acotada de algún modo a enfermedades crónico degenerativas (Landrigan et al., 2007). No obstante, se obtuvo que hay tres municipios en la zona noroeste (Tlajomulco de Zúñiga, El Salto y Tonalá) y uno en la zona este (Ocotlán), en donde prevalece la alta mortalidad por enfermedades gastrointestinales, además de algunas enfermedades crónicas degenerativas. Lo anterior puede ser indicador de la acción de factores ambientales, que están determinando, en algún grado, la mortalidad.

Con base en los resultados obtenidos en este trabajo, se observa que los municipios con mayores problemas respecto a contaminación y salud (Ocotlán, El Salto, Tlajomulco de Zúñiga y Tonalá) reúnen características similares (Tabla 14).

Tabla 14. Características de los municipios con mayor mortalidad asociada a sitios contaminados.

Municipio	Número de parques industriales	Substancias emitidas (RETC)	Substancias cancerígenas (IARC)	Plantas de Tratamiento	Número de tipos de cánceres reportados en la zona	Mortalidad
Ocotlán	1	11	6	A-1	11	En este sitio no hay mayor problemática por enfermedades gastrointestinales; no obstante, se ha dado drástico aumento en la mortalidad por cáncer, enfermedades respiratorias y principalmente por insuficiencia renal. Asimismo, es uno de los municipios en los que se han dado muertes masculinas por cáncer de mama.
El Salto	4	19	10	A-1	11	Presenta alta mortalidad por enfermedades gastrointestinales, respiratorias e insuficiencia renal, en el caso de cáncer se ha dado disminución en la TME, no obstante, se han presentado defunciones masculinas por cáncer de mama. Este es el lugar con mayor actividad manufacturera del área de estudio, y es uno de los municipios con las mayores tasas de mortalidad de toda la zona.
Tlajomulco de Zúñiga	4	25	12	A-3 I-1	13	Hacia 2012 la tasa de mortalidad por enfermedades gastrointestinales era baja, pero en 2015 dichas enfermedades se convirtieron en un grave problema, de tal forma que éste es el sitio con la mayor TME. En cuanto a cáncer e insuficiencia renal, se ha dado un aumento a través del tiempo con 2015 como el año con las mayores tasas; en este lugar también hay defunciones por cáncer de mama en varones. Respecto a enfermedades respiratorias, la tasa se ha mantenido dentro de un mismo rango en los últimos quince años.
Tonalá	0	1	0	A-8 I-1	7	La TME por enfermedades gastrointestinales e insuficiencia renal, ha tenido un decremento considerable en los últimos años; sin embargo, aún es alta. Las tasas de cáncer y enfermedades respiratorias se han mantenido dentro del mismo intervalo en los últimos quince años, alto y muy alto respectivamente.

En general, los resultados obtenidos son consistentes con Arellano-Aguilar et al. (2012 b), quienes a partir de calcular la TME estándar, reportaron problemas gastrointestinales, enfermedades hipertensivas, enfermedades crónicas de las vías respiratorias e insuficiencia renal en los municipios de

la zona de estudio, principalmente en el Salto y Juanacatlán. Asimismo, en dicho trabajo, se estableció una zona de riesgo, la cual va de Ocotlán-Poncitlán hasta Tonalá-Zapotlanejo, ésta se encuentra subdividida en zona de alto riesgo (de 0-1 km a la redonda del río) y de riesgo moderado (de 1-5 km a la redonda).

También se observó que en algunos casos las tasas de mortalidad por causa específica no han cambiado mucho en la última década, a pesar de que la polución del sitio sigue siendo un grave problema. La poca variación de algunas tasas de mortalidad por enfermedades específicas puede deberse a dos factores principales; el primero es el tiempo de latencia de las enfermedades, ya que en algunas ocasiones el daño por exposición a tóxicos no se observa de forma inmediata, sino que puede tardar años en hacerse visible, y una vez que eso ocurre, pueden pasar varios años más en los que la calidad de vida, tanto del afectado directo como de sus familias, se va deteriorando hasta que el individuo muere. El segundo factor, puede relacionarse con las campañas desarrolladas por el sector salud, las cuales apelan a la detección temprana de enfermedades (Tovar-Guzmán et al., 2002), como cáncer, enfermedades respiratorias, insuficiencia renal, etc. Esto, permite a los pacientes tener una mejor calidad de vida; lo cual también propicia el incremento de su esperanza de vida. Asimismo, las campañas de salud, a veces acompañadas por acciones de la sociedad civil, se encargan de concientizar en algún grado al resto de la población, pues se pueden observar cambios en el estilo de vida de las familias, como disminución en la ingesta de ciertos alimentos; pueden tener cierta influencia en el número de muertes por padecimientos, que en general están determinados por diversos factores.

Por lo anterior, la forma ideal de realizar un trabajo como el aquí desarrollado, es utilizando el número de casos detectados en la zona. Sin embargo, en este caso no fue posible hacerlo; por lo tanto, se optó por utilizar tasas de mortalidad, debido a que estas muestran la magnitud del cambio de una variable por unidad de tiempo, con relación al tamaño de la población estudiada (Moreno-Altamirano et al., 2000).

Lo obtenido en este estudio, aunado a lo denunciado por distintos grupos civiles e institucionales, contrasta con el reporte de la SEMARNAT-CONAGUA (2016), en el que se menciona que de acuerdo a los parámetros DBO el 92% y DQO el 68% de los cuerpos de agua del país, se encuentran con calidad de aceptable a excelente; esto es claro ejemplo de que la aplicación generalizada de indicadores de calidad de agua, pueden llevar a la interpretación incorrecta e incompleta de la problemática de

contaminación de los sistemas acuáticos que se desarrolla en el país, la cual está siendo enmascarada por las principales autoridades de México.

El agua contaminada contiene compuestos conocidos y desconocidos que representan una grave amenaza para la salud pública y para los ecosistemas acuáticos, debido también a que los compuestos crean mezclas que pueden tener potencial carcinogénico (Jia-Ren et al., 2009). Hoy en día se sabe que, aunque los factores genéticos pueden predisponer el riesgo de padecer cáncer, las condiciones ambientales determinan la incidencia y las tasas de mortalidad por dicha enfermedad (Oyana y Guajardo, 2009; Hitt y Hendryx, 2010). Por ello, en los últimos años se ha hecho hincapié en que, para tener una población sana, se deben tener ecosistemas sanos (Mazari et al., 2010).

Aunado a lo anterior, en países desarrollados se ha observado una transición epidemiológica, misma que consiste en modificaciones de la situación de salud de la población, debido a cambios demográficos, sociales y económicos, que causan variación en hábitos de limpieza, servicios de salud y nutrición. Por consiguiente, la estadística de salud pasa de alta mortalidad por enfermedades infecciosas, de desnutrición y problemas perinatales a alta mortalidad por enfermedades crónico-degenerativas no infecciosas (Tovar-Guzmán et al., 2002; Mazari et al., 2010).

En el caso de México, no se ha podido resolver la problemática concerniente a la cantidad y calidad del agua. Por lo tanto, las enfermedades de origen infeccioso, asociadas a desnutrición y perinatales siguen causando muertes en distintas zonas del país. Simultáneamente, en las últimas décadas se ha dado incremento en la incidencia y mortalidad por enfermedades crónico-degenerativas, las cuales también están asociadas con los compuestos emitidos por actividades industriales y agrícolas. Como resultado, en general, México se encuentra en una situación combinada entre país en vías de desarrollo y país desarrollado, lo cual implica un mayor riesgo para la población a corto y largo plazo (Mazari-Hiriart et al., 2010). Aun así, vale la pena aclarar que, debido a la situación desigual de economía y desarrollo, los estados en donde se da la mayor mortalidad por enfermedades de origen infeccioso son también los más pobres y menos desarrollados. Por el contrario, los sitios más desarrollados son aquellos en donde la mortalidad por enfermedades crónico degenerativa causan más defunciones (PNUD, 2014). Por ello, vale la pena preguntarse para qué o para quiénes es el desarrollo, pues mientras el poder de ciertos sectores de la sociedad aumenta a partir de la explotación de recursos naturales, el costo ambiental en función de residuos y contaminación es mayor para los sectores más empobrecidos y por ende vulnerables.

Falta de acceso a la información y limitaciones del trabajo

En cuanto a las principales limitaciones de este trabajo, destaca la falta de información, debido a las dificultades en el acceso a ésta. En nuestro país, se ha documentado que la gestión de sustancias tóxicas sigue siendo inadecuada, lo cual representa un riesgo para la población, en especial de niños y adultos mayores (Mazari-Hiriart, et al., 2010; Flores-Ramírez et al., 2017). En particular, existe déficit de información, de integración y disponibilidad respecto a la calidad del agua, al saneamiento y a la salud; por lo tanto, es común encontrar visiones parciales y sesgadas de este fenómeno (Mazari-Hiriart et al., 2010).

La falta de información correcta y completa se observó también durante el desarrollo de este estudio. Las principales lagunas de información se encontraron en el SIEM y en el RETC; en el primer caso la forma en la que se encuentra la base de datos y las múltiples faltas de ortografía evidencian la falta de supervisión por parte de la autoridad competente. Se trata de una base de datos oficial, que se encuentra incompleta; por ejemplo, al consultar el apartado de productos demandados y ofertados (mismos que pueden ayudar a dar una idea del tipo de desechos que emiten al ambiente), en general aparecen trivialidades como energía eléctrica, agua e internet; que, si bien forman parte de la demanda de la empresa, no proporcionan ningún dato de valor para estudios que profundicen un poco más en las actividades del sector.

Por otra parte, en el RETC, se observa que el registro publicado tiene un retraso de al menos tres años. La primera consulta a esta plataforma de información se realizó en marzo de 2016, se obtuvo que 2013 era el último año disponible para consultar, en este caso se encontró reporte principalmente de metales pesados para seis de nueve municipios de estudio. La segunda consulta se hizo en agosto de 2017, en esta ocasión se encontró información de registro de emisiones de diversas sustancias, incluidos metales pesados hasta 2014, para siete de nueve municipios, de los cuales sólo cuatro tenían registro año con año. Asimismo, se observó que, durante la primera consulta, Tonalá no se encontraba en los municipios con información, sin embargo, en la consulta de 2017, dicho municipio presentaba un registro de emisión para 2005.

En cuanto a la información de calidad de agua, se encontró que la CEA Jalisco reporta casi todos los meses del año el monitoreo que realiza; sin embargo, el principal problema radica en que no se monitorea adecuadamente, pues se encuentran parámetros en los que las mediciones no muestran

variabilidad alguna a través del tiempo y espacio. Esto quizá, debido a que el muestreo no se realiza considerando la movilidad de los distintos contaminantes en la columna de agua y en los sedimentos. Asimismo, los puntos de muestreo establecidos no se pueden ubicar con facilidad y no hay una aparente justificación sobre su ubicación.

Por otra parte, las dificultades de acceso al SINAIS se resolvieron después de la solicitud de información a través del portal de transparencia; ya que, al parecer en un primer momento, los cubos dinámicos de defunciones, no se encontraban actualizados para todos los municipios.

Como se mencionó con anterioridad, se trabajó con defunciones por causa específica y no con casos detectados, debido a que en el sistema de salud la detección de diversos males suele ser tardado y en ocasiones, los primeros diagnósticos son erróneos al ser confundidos con otras patologías. Además, por parte de la población en general no hay una cultura de prevención, por lo cual la búsqueda de atención médica se posterga, hasta que los daños a la salud se encuentran en un estado avanzado. Debido a estas razones, las estadísticas en cuanto a casos detectados se encuentran lejos de la realidad. Para poder mantener las cifras actualizadas y reales debe haber una participación interdisciplinaria, es decir, en la que las instituciones y la sociedad trabajen en conjunto, para así poder detectar y atender tempranamente las afectaciones a la salud, así como sus principales causas.

Queda claro que la situación actual del sector de empresarial, de medio ambiente y salud no se conoce con precisión, que la disponibilidad de información es precaria y que las instituciones de los tres niveles de gobierno son incapaces de monitorear y supervisar tanto a las industrias, como a sus órganos descentralizados. Por esta razón, en México, la información oficial sobre agua e industria suele ser confusa y desactualizada, es imprecisa y algunas veces poco sistemática. Dichas características dificultan su utilización, al tiempo que la información resulta inservible al plantear posibles soluciones a las muchas problemáticas existentes en el país (López y Flores, 2010).

Factores externos que inciden en el deterioro ambiental y de salud

Como parte del proceso de investigación de este trabajo, mi reflexión va en el siguiente sentido; quedan claras dos cosas: 1) el entorno natural tiene incidencia directa en dos de los componentes principales del desarrollo de las poblaciones y de los países: en el ingreso y la salud (Bretschger y Vinogradova, 2017); y 2) la contaminación ambiental pone en peligro la estabilidad de los sistemas de sustento de la vida en la Tierra, amenazando así la supervivencia de ecosistemas en los que habitan cientos de

especies, incluida la humana, debido entre otras cosas a que los daños a la salud tienden a ser irreversibles (Landringan et al., 2017) y no se distribuyen de forma equitativa en la sociedad, pues siempre hay gran contraste entre los que ganan recursos económicos y poder a costa del aprovechamiento de recursos naturales y quienes son despojados y padecen de forma tangible las consecuencias del consumo desmedido y las afectaciones al medio ambiente, que en este caso impactan directamente en la salud de las poblaciones aledañas al Río Grande de Santiago.

También, se deben contemplar cuáles son los factores que están incidiendo en la problemática y que generalmente tienden a verse como aislados; por ejemplo, las crisis económicas, mismas que han afectado los esquemas de monitoreo y de recopilación de información (López y Flores, 2010). Ya que actualmente se priorizan otros temas, mientras que el presupuesto destinado al control y monitoreo del agua es cada vez menor. Sin embargo, no debe perderse de vista que la contaminación tiene costos de diversa índole, entre ellos los económicos; éstos no sólo incluyen la productividad y la salud, sino también los costos que se derivan de la destrucción de ecosistemas, de la pérdida de especies clave como polinizadores entre otros y, en general, de los grandes beneficios para el humano que aportan los servicios ecosistémicos (Landringan et al., 2017).

Asimismo, la oposición de diversos y poderosos intereses nacionales e internacionales ha sido una barrera para el control y mitigación de la contaminación, ya que éstos, tienden a ejercer gran influencia sobre las políticas gubernamentales; además, tienden a desacreditar los trabajos científicos que relacionan daños a la salud por contaminación y deslegitiman las intervenciones realizadas para establecer estándares de seguridad (Landringan et al., 2017). No obstante, hoy en día se apela al establecimiento de políticas públicas, leyes y normativa en general, que sirvan como pilar del desarrollo, al tiempo que protejan la integridad ecosistémica y la salud humana (Bretschger y Vinogradova, 2017; Landringan et al., 2017). Dichas herramientas de gestión deben construirse en un sistema sólido, sistemático y transparente que priorice el control de la contaminación a través de la evaluación de los efectos adversos a la salud, del daño ambiental y de la relación costo-beneficio del control de las fuentes contaminantes (Landringan et al., 2017).

En México, en 1999, se reformó el artículo cuarto constitucional, mismo que establece el derecho a un ambiente sano para su desarrollo y bienestar; de igual forma, en 2013 se publicó la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental; ésta tiene como objetivo reconocer el daño ambiental, responsabilizar a los que lo causan y aplicar sanciones que reparen o, en determinados casos, compensen la restitución

del daño ecosistémico. Si bien se trata de un primer acercamiento integral a la problemática, no aborda de forma concreta los daños ocasionados a la salud humana, pues cuando el daño ambiental se considera irreparable se opta por una sanción económica, la cual está establecida dentro de un rango de salarios mínimos y puede ser reducida a una tercera parte, bajo ciertos preceptos. Lo anterior, deja claro que las externalidades negativas de los procesos de producción, siguen sin ser tomadas con seriedad al sancionar a los responsables de contaminar el ambiente (Bretschger y Vinogradova, 2017).

De acuerdo con Landringan et al. (2017), al considerar los costos de las enfermedades asociadas a la contaminación, deben contemplarse gastos médicos directos, los cuales incluyen costos hospitalarios, médicos, de medicamentos, de rehabilitación a largo plazo o de atención domiciliaria, además de servicios no clínicos como servicios de apoyo y seguro médico. Asimismo, los gastos indirectos relacionados con la salud, como el tiempo perdido de la escuela o el trabajo, los costos de educación especial y el de las inversiones en el sistema de salud, las cuales incluyen infraestructura, investigación, desarrollo y capacitación médica. También, debe tomarse en cuenta la disminución de productividad económica de las personas que han sido permanentemente dañadas por la contaminación; y finalmente deben contemplarse las pérdidas en la producción debido a la muerte prematura.

Resulta pertinente recalcar que, tal como se ha visto en otras regiones del mundo, trabajar en el control y mitigación de la contaminación ambiental tiene múltiples beneficios; entre los directos se encuentra la mejora en la calidad del agua, aire y suelo, lo cual también mejora en algún grado la salud. Es decir, se da la reducción en la incidencia y prevalencia de ciertos padecimientos, así como en el número de muertes prematuras, por lo que aumenta la longevidad y mejora la calidad de vida. Por otra parte, los beneficios indirectos pueden incluir la disminución de pobreza, el aumento de turismo y el decremento de la tensión política prevaleciente en sitios de conflictos socioambientales (Landringan et al., 2017).

En resumen, debido a las características sociodemográficas de la zona se esperaba obtener tendencias claras de mortalidad, mismas que ayudaran a demostrar el impacto de la contaminación del río en las poblaciones que viven en los municipios aledaños al río. No obstante, no se obtuvieron tendencias claras en los patrones de mortalidad y, en algunos casos, las tasas de mortalidad presentaron cambios abruptos de un año a otro. Dichos cambios fueron en diferentes lugares y años, por lo cual no se puede aseverar que hayan sido debido a algún factor en específico.

CONCLUSIÓN

La contaminación por causas antropogénicas es el mayor factor de riesgo para los ecosistemas del planeta; además, es la principal causa de muerte prematura en el mundo, lo cual tiene implicaciones económicas, a distintas escalas, que repercuten en el desarrollo humano y en la calidad de vida de las personas.

En este trabajo, se describieron las tendencias de contaminación y mortalidad en los municipios aledaños al Río Grande de Santiago. Los resultados de esta investigación muestran que de los nueve municipios de estudio, sólo en Ocotlán, El Salto, Tlajomulco de Zúñiga y Tonalá se encuentran concentradas las actividades industriales, las plantas de tratamiento de aguas residuales, los sitios de descarga de residuos y parte de la población de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Dichos sitios, son también aquellos en los que las tasas de mortalidad por enfermedades asociadas a contaminación son altas, en comparación con los municipios en los que el desarrollo industrial se ha dado en menor medida.

En conclusión, se obtuvo que de los nueve municipios contemplados en este trabajo sólo en cuatro se encuentran concentradas las mayores tasas de mortalidad y el mayor desarrollo industrial, el cual implica también que son los municipios en los que se han descargado y se descargan altas cantidades de contaminantes, tanto al agua como al aire. En nuestro país, la emisión de contaminantes es difícil de monitorear a ciencia cierta; sin embargo, las tasas de mortalidad obtenidas nos indican que en la zona aledaña al río grande de Santiago hay municipios que están presentando problemas de salud pública debido a los contaminantes emitidos por las industrias, en más de una ocasión, rebasan los niveles permitidos de contaminantes, al tiempo que las tasas de mortalidad en algunos de los municipios de estudio se encuentran por arriba del promedio estatal.

Recomendaciones finales

Finalmente, es recomendable ampliar las zonas de riesgo y revisar su gestión en todo aspecto. Este estudio muestra que las acciones implementadas por las autoridades para disminuir la contaminación, es decir, el establecimiento del Polígono de Fragilidad Ambiental de la cuenca El Ahogado, en 2010, y la mega Planta de Tratamiento “El Ahogado”, en 2012, no han tenido un impacto en la resolución del problema; por el contrario, están teniendo un impacto negativo en la salud de la población, que se ve reflejado en el aumento de las tasas de mortalidad por enfermedades gastrointestinales, a partir del

establecimiento de dicha planta. Por otro lado, existen municipios que están siendo severamente afectados, como Ocotlán, y que no han sido considerados en ninguno de los proyectos que buscan atender el problema. Ello muestra que las afectaciones que viven sus habitantes son prácticamente imperceptibles para los tomadores de decisiones.

En general, en toda la zona de riesgo se deben realizar estudios integrales en los que se aborde de forma concreta la situación del ambiente y de la salud actual de los habitantes. Dicho de otro modo, estudios que se basen en el monitoreo correcto de contaminantes emitidos al ambiente, de acuerdo con sus características químicas, el funcionamiento de las plantas de tratamiento, sus residuos y la calidad del agua tratada. Además, se deben incluir inspecciones de la salud de las personas que viven expuestas a la contaminación de estos sitios y poner atención en la incidencia de las patologías y no sólo al número de muertes que causan, pues el que una persona enferme por la contaminación ambiental, no implica que deba morir por ello, pero sí implica que su calidad de vida y la de su familia se ve severamente afectada. Con los resultados de estudios integrales, se podrá responsabilizar a los culpables del daño socioambiental y se podrá exigir justicia para los afectados, al tiempo que se podrán plantear acciones eficaces que ayuden a controlar de forma certera la contaminación del río y, con ello prevenir en la medida de lo posible futuras afectaciones a los distintos seres vivos del lugar.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, A. y N. Durán. (2010). Conceptos de calidad de agua: un enfoque multidisciplinario. En Aguilar, A. (Coord.), *Calidad de agua: un enfoque multidisciplinario*. (11-22 pp). UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas.
- Arellano-Aguilar, O., Ortega Elorza, L., y Gesundheit Montero, P. (2012 a). Daños a la salud por efectos de riesgo ambiental. En: *Salud, Ambiente y Trabajo*. McGraw Hill. México. 88-107 pp.
- Arellano-Aguilar, O., Ortega Elorza, L., y Gesundheit Montero, P. (2012 b). Estudio de la contaminación en la cuenca del río Santiago y la salud pública en la región. Reporte técnico. UCCS México. En línea https://www.uccs.mx/downloads/index.php?id=file_5066eea7d2001 Consultado 15 de febrero de 2016. 133 pp.
- Asamoah, A. (2017). *Assessment of the Contamination Level of Persistent Organic Pollutants in Breast Milk of Ghanian Women from a polluted Area in Accra*. Tesis Doctoral. Universidad de Aalborg. Dinamarca. 172 pp.

- Bretschger, L., y Vinogradova, A. (2017). Human Development at Risk: Economic Growth with Pollution-Induced Health Shocks. *Environmental and Resource Economics* 66(3); 481–495 pp. <http://doi.org/10.1007/s10640-016-0089-0>.
- Butler, C., Corvalan, C., and Hillel S. Koren. (2005). Human Health, Well-Being, and Global Ecological Scenarios. *Ecosystems* 8: 153–162 DOI: 10.1007/s10021-004-0076-0.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Ley federal de responsabilidad ambiental, Diario Oficial de la Federación 17 (2013). México. En línea <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/101042/LFRA.pdf>.
- Carabias, J., y Rosalva, L. (2005). Agua, medio ambiente y sociedad: hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. Universidad Nacional Autónoma de México, El Colegio de México y: Fundación Gonzalo Río Arronte. 221 pp.
- Comba, P., Ascoli, V., Belli, S., Benedetti, M., Gatti, L., Ricci, P., y Tieghi, A. (2003). Risk of soft tissue sarcomas and residence in the neighbourhood of an incinerator of industrial wastes. *Occupational and Environmental Medicine* 60; 680–683 pp.
- Comisión Estatal de Derechos Humanos Jalisco. Recomendación 1/2009. Guadalajara, Jalisco. 275 pp. En línea cedhj.org.mx/recomendaciones/emitidas/2009/rec0901.pdf Consultado el 2 de abril de 2016.
- Comisión Estatal del Agua de Jalisco. (2012). El Ahogado. México. 149 pp.
- Comisión Estatal del Agua de Jalisco. (2013). Resultados del monitoreo río Santiago, río Zula y arroyo el Ahogado de julio de 2013. Dirección de operación de plantas de tratamiento. 110 pp. En línea: http://www.ceajalisco.gob.mx/notas/documentos/2013/monitoreo_julio2013.pdf Consultado el 19 de mayo de 2016.
- Comisión Estatal del Agua Jalisco. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. En línea http://www.ceajalisco.gob.mx/contenido/plantas_tratamiento/ Consultado el 08 de noviembre de 2017.
- Comisión Estatal del Agua Jalisco. Sistema de Calidad del Agua. En línea <http://info.ceajalisco.gob.mx/sca/> Consultado el 4 de octubre de 2016.
- Comisión Nacional de la Población. Proyecciones de población por entidad federativa 1990-2010 y 2010-2030. En línea http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos Consultado el 21 de septiembre de 2016.
- Comisión Nacional del Agua (2015). Atlas del Agua en México 2015. CONAGUA-SEMARNAT. 138 pp.
- Comisión Nacional del Agua. (2015). Estadísticas del Agua en México. CONAGUA-SEMARNAT. 298 pp.
- Durand, J. (1986). Los obreros de Río Grande. El Colegio de Michoacán. Zamora, Michoacán. 244 pp.

- Flores-Ramírez, R., Pérez-Vázquez, F., Rodríguez-Aguilar, M., Medellín-Garibay, S., Van Brussel, E., Cubillas-Tejeda, A., Carrizales-Yáñez, L. and Díaz-Barriga, F. (2017). Biomonitoring of persistent organic pollutants (POPs) in child populations living near contaminated sites in Mexico. *Science of the Total Environment*. 579. 1120–1126 pp. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.087>.
- García-Pérez, J., Morales-Piga, A., Gómez, J., Gómez-Barroso, D., Tamayo-Uria, I., Pardo Romaguera, E. and Ramis, R. (2016). Association between residential proximity to environmental pollution sources and childhood renal tumors. *Environmental Research* 147, 405–414 pp.
- García-Pérez, J., Morales-Piga, A., Gómez-Barroso, D., Tamayo-Uria, I., Pardo Romaguera, E., López-Abente, G., and Ramis, R. (2017). Risk of bone tumors in children and residential proximity to industrial and urban areas: New findings from a case-control study. *Science of the Total Environment*. 579. 1333–1342 pp. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.131>.
- Genc, T. O., y Yilmaz, F. (2018). Heavy Metals Content in Water, Sediment, and Fish (*Mugil Cephalus*) From Koycegiz Lagoon System in Turkey: Approaches for Assessing Environmental and Health Risk. *Agricultural Science and Technology*. 20. 12 pp.
- Gobierno del Estado de Jalisco. Polígono de fragilidad ambiental cuenca El Ahogado. Núm. 32 Sección III, p. 16. Guadalajara, Jalisco. En línea: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Jalisco/wo53050.pdf> Consultado el 20 de abril de 2016.
- Hernández-Girón, C., Orozco-Núñez, E., y Arredondo-López, A. (2012). Modelos conceptuales y paradigmas en salud pública. *Public health conceptual models and paradigms*. *Salud Pública*. 14(2), 315–324 pp.
- Hitt, N. P., and Hendryx, M. (2010). Ecological Integrity of Streams Related to Human Cancer Mortality Rates. *International Association for Ecology and Health*. 7, 91–104. <http://doi.org/10.1007/s10393-010-0297-y>.
- Idrovo, A. (2011). Physical environment and life expectancy at birth in Mexico: an eco-epidemiological study. *Cadernos de Saúde Pública*. 27(6). 1175–1184 pp. <http://doi.org/10.1590/S0102-311X2011000600014>.
- Instituto de Información Estadística y Geográfica Jalisco. (2017). Sistema de consulta interactiva sociodemográfica. En línea <http://www.iiieg.gob.mx/sicis/index.php#iiieg> consultado el 05 de octubre de 2017.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). Encuesta intercensal 2015. Número de habitantes. En línea: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/jal/poblacion/> Consultado el 19 de mayo de 2016.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Clasificador para la Codificación de Actividad económica. En línea <http://www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/clasificadores/clasificador%20de%20actividad%20economica.pdf> Consultado el 21 de septiembre de 2016.

- International Agency for Research on Cancer. (2017). Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–120. En línea <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsAlphaOrder.pdf> Consultado el 30 de octubre de 2017.
- Jarup, L. (2004). Health and Environment Information Systems for Exposure and Disease Mapping, and Risk Assessment. *Environmental Health Perspectives*. 112(9), 995–997 pp. <http://doi.org/http://doi.org/10.1289/ehp.6736>.
- Jia-Ren, L., Hong-Wei, D., Xuan-Le, T., Xiang-Rong, S., Xiao-Hui, H., Bing-Qing, C., Chang-Hao, S. and Bao-Feng, Y. (2009). Genotoxicity of water from the Songhua River, China, in 1994–1995 and 2002–2003: Potential risks for human health. *Environmental Pollution*. 157, 357–364 pp. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.10.004>.
- Jiménez, B., Durán, C. y Méndez J. (2010). Calidad. En Jiménez, B., Torregrosa, M., y Aboites, L. (Eds.). (2010). *El agua en México: cauces y encauces*. Academia Mexicana de Ciencias. México, 256-290 pp.
- Juang, D.-F., Lee, C.-H., Chen, W.-C., and Yuan, C.-S. (2010). Do the VOCs that evaporate from a heavily polluted river threaten the health of riparian residents? *Science of the Total Environment*, 408. 4524–4531 pp. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.06.039>.
- Kuehn, C. M., Mueller, B. A., Checkoway, H., y Williams, M. (2007). Risk of malformations associated with residential proximity to hazardous waste sites in Washington State. *Environmental Research*. 103, 405–412 pp. <http://doi.org/10.1016/j.envres.2006.08.008>.
- Landrigan, P., Fuller, R., Acosta, N., Adeyi, O., Arnold, R. Basu, N., Baldé, A., Bertollini, R., Bose-O'Reilly, St., Boufford, J., Breyse, P., Chiles, T., Mahidol, C., Coll-Seck, A., Cropper, M., Fobil, J., Fuster, V., Greenstone, M., Haines, A., Hanrahan, D., Hunter, D., Khare, M., Krupnick, A., Lanphear, B., Lohani, B., Martin, K., Mathiasen, K., McTeer, M., Murray, C., Ndahimananjara, J., Perera, F., Potočnik, J., Preker, A., Ramesh, J., Rockström, J., Salinas, C., Samson, L., Sandilya, K., Sly, P., Smith, K., Steiner, A., Stewart, R., Suk, W., van Schayck, O., Yadama, G., Yumkella, K. and Zhong, M. (2017). The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*, 51 pp. [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0).
- López, M. y Flores, B. (2010). Industria. En Jiménez, B., Torregrosa, M., y Aboites, L. (Eds.). *El agua en México: cauces y encauces*. Academia Mexicana de Ciencias. México. 179-202 pp.
- Martínez, P., y Hernández, E. (2009). Impactos de la contaminación del Río Santiago en el bienestar de los habitantes de El Salto, Jalisco. *Espacio Abierto Cuaderno Venezolano de Sociología* 18(4). 709–729 pp. <http://doi.org/ISSN 1315-0006>.
- Mazari-Hiriart, M., Espinosa, A., López, Y., Arredondo, R., Díaz, E. y Equihua, C. (2010). Visión integral sobre el agua y la salud. En: Jiménez, B., Torregrosa, M., y Aboites, L. (Eds.). *El agua en México: cauces y encauces*. Academia Mexicana de Ciencias. México. 291-316 pp.

- McCulligh DeBlasi, C., Páez, J. y Moya, G. (2007). Mártires del Río Santiago. Informe sobre violaciones al derecho a la salud y a un medio ambiente sano en Juanacatlán y El Salto, Jalisco, México. En línea: www2.ohchr.org/english/issues/.../business/.../InformerioSantiago_sp.pdf.
- Monte, R. (2013). Metodología para evaluar la modificación de la capacidad de autodepuración de los ríos por efecto del cambio climático. Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 161 pp.
- Montoya DM, Olaya F., Carvajal Y., Echavarría S., Arango A., Domínguez C., Marín H., Noreña C., Higueta C., Saldarriaga J., Martínez E, y Rojas C. (2009). Epidemiología y la relación salud-ambiente: reflexiones sobre el cambio ambiental, desarrollo sustentable y salud poblacional. *Facultad Nacional de Salud Pública*. 27(2), 211-217 pp.
- Moreno-Altamirano, A., López-Moreno, S., y Corcho-Berdugo, A. (2000). Principales medidas en epidemiología. *Salud Pública de México*. Instituto Nacional de Salud Pública. 337-348 pp. <http://doi.org/10.1590/S0036-36342000000400009>.
- Motta, O., Capunzo, M., De Caro, F., Brunetti, L., Santoro, E., Farina, A., and Proto, A. (2008). New approach for evaluating the public health risk of living near a polluted river. *Preventive Medicine and Hygiene*. 49, 79–88 pp.
- Naciones Unidas. Derechos Humanos. Oficina del alto comisionado. Declaración del Grupo de trabajo de Naciones Unidas sobre empresas y derechos humanos al final de su visita a México Ciudad de México, 7 de septiembre de 2016. En línea <http://www.ohchr.org/SP/NewsEvents/Pages/DisplayNews.aspx?NewsID=20466&LangID=S> Consultado el 08 de noviembre de 2017.
- Niazi, M., Obropta, C. y Miskewitz, R. (2015). Pathogen transport and fate modelling in the Upper Salem River Watershed using SWAT model. *Journal of Environmental Management*. 151, 167–177 pp. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.12.042>.
- Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEMARNAT-1996 NOM-002-SEMARNAT-1996 NOM-003-SEMARNAT-1997. En línea https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105139/Normas_Oficiales_Mexicanas.pdf Consultado el 5 de octubre de 2016.
- Ohe, T., Watanabe, T. y Wakabayashi, K. (2004). Mutagens in surface waters: a review. *Mutation Research*. 567, 109–149 pp. <http://doi.org/10.1016/j.mrrev.2004.08.003>.
- Organización Panamericana de la Salud en las Américas (2007). Regional. Publicación Científica y Técnica. Vol. I. No. 622. 1(622); 482 pp.
- Ortega, T., Mastrangelo, M., Villarroel, D., Piaz, A., Vallejos, M., Saenz, J., Gallego, F. Franquesa, S., Calzada, L., Espinosa, N., Fiestas, J., Gill, L., González, Z., Luna, B., Martínez-Peralta, C., Ochoa, O., Pérez, L., Sala, J., Sánchez-Rosa, I., Weeks, M., Ávila, D., García-Reyes, I., Carmona, A., Castro, F., Ferrer, C.,

- Frank, M., López, G., Núñez, M., Tobaada, R., Benet, D., Venegas, Y., Balvanera, P., Mwampamba, T., Lazos, E. Noellemeyer, E. y Maass, M. (2014). Estudios transdisciplinarios en socio-ecosistemas: reflexiones teóricas y su aplicación en contextos latinoamericanos. *Investigación Ambiental*. 6(2): 151–164 pp.
- Ostrom, E., (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*. 325 (5939), 419-422 pp.
- Oyana, T. and Guajardo, O. (2009). A Critical Assessment of Geographic Clusters of Breast and Lung Cancer Incidences among Residents Living near the Tittabawassee and Saginaw Rivers, Michigan, USA. *Journal of Environmental and Public Health*, 1–16 pp. <http://doi.org/10.1155/2009/316249>.
- Partida, R. (2002). Localización industrial en la cuenca Lerma-Chapala-Santiago: el caso del Corredor Industrial de Jalisco. *El Cotidiano* 112(18): 105–112 pp.
- Peniche Camps, S., y Guzmán Arroyo, M. (comp.). (2009). Estudios de la cuenca del río Santiago. Un enfoque multidisciplinario. Ed. Páramo. Guadalajara, Jalisco. 201 pp.
- Preeyaporn, K., HyeLim, K., Weon, J.-I., and Rok Seo, Y. (2013). Toxicogenomic approaches for understanding molecular mechanisms of heavymetal mutagenicity and carcinogenicity. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 216. 587–598. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2013.02.010>.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2014). Índice de Desarrollo Humano Municipal en México: nueva metodología. PNUD México. 104 pp.
- Roa, L., y Pescador, B. (2016). La salud del ser humano y su armonía con el ambiente. *Rev. Med*. 24(1). 111–122 pp.
- Samboni, N., Carvajal, Y. y Escobar, J. C. (2007). A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172–181 pp.
- Secretaría de Economía. Sistema de Información Empresarial Mexicano. En línea <http://www.siem.gob.mx/siem/portal/consultas/consulta.asp?q=2> Consultado el 21 de septiembre de 2016.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional del Agua. Numeragua. (2016). 98 pp. En línea http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/Numeragua_2016.pdf.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes. En línea <http://apps1.semarnat.gob.mx/retc/retc/index.php> Consultado el 27 de septiembre de 2016.
- Secretaría de Salud. Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS). Cubos dinámicos. En línea <http://pda.salud.gob.mx/cubos/cmortalidadxp.html> Consultado el 08 de marzo de 2017.

- SINAIS. (2017). Cubos dinámicos defunciones. En línea <http://pda.salud.gob.mx/cubos/cmortalidadxp.html> Consultado el 8 de marzo de 2017.
- Sistema de Información Nacional del Agua. (2015). Descargas de aguas residuales (Nacional). En línea: http://201.116.60.25/sina/index_jquery-mobile2.html?tema=descargasResiduales Consultado el 22 de mayo y el 4 de diciembre de 2016.
- Tovar-Guzmán, V., Barquera, S., y López-Antuñano, F. (2002). Tendencias de mortalidad por cánceres atribuibles al tabaco en México. *Salud Pública de México*, 44(1), 20–28 pp.
- Tribunal Latinoamericano del agua. (2007). Caso: Deterioro y contaminación del Río Santiago. Municipios de El Salto y Juanacatlán, Estado de Jalisco, República Mexicana, 5 pp. En línea <http://tragua.com/audiencias/segunda-audiencia-regional-latinoamericana-ano-2007-guadalajara-mexico/> Consultado el 19 de abril de 2016.
- Verkasalo, P. K., Kokki, E., Pukkala, E., Vartiainen, T., Kiviranta, H., Penttinen, A. y Pekkanen, J. (2004). Cancer Risk Near a Polluted River in Finland. *Environmental Health Perspectives*. 112. 1126–1131 pp. <http://doi.org/10.1289>.
- Wu, X., Cobbina, S. J., Mao, G., Xu, H., Zhang, Z. y Yang, L. (2016). A review of toxicity and mechanisms of individual and mixtures of heavy metals in the environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 16 pp. <http://doi.org/10.1007/s11356-016-6333-x>

ANEXO 1A.

Tabla 15. Enfermedades asociadas a sitios contaminados. Modificado de Arellano-Aguilar, et al (2012 a).

Fuente	Distancia (km)	Compuestos identificados	Patologías en la población	Referencias
Instalaciones industriales				
Planta de plaguicidas, Waltham Abbey, Reino Unido	≤ 1 < 7.5	250 sustancias químicas procesadas	Cáncer (5 tipos) Melanoma de piel	Wilkinson et al., 1994
Planta de incinerador en Mantua, Italia	≤ 2	Emisión 2,3,7,8-TCDD	Diferentes tipos de sarcomas	Comba et al., 2003
Vertederos de desechos peligrosos, Washington	≤ 2	Metales pesados, compuestos volátiles, etc.	Malformaciones en el tubo neural, de la piel, en el aparato reproductor, urogenital, circulatorio, congénitas, en el sistema nervioso central, músculo esquelético, defectos cardiacos y orofaciales.	Kuehn et al., 2007
Industria metalúrgica, de vidrio y fibras minerales, de cerámica y de químicos orgánicos. Sitios de descarga y plantas de tratamiento de aguas residuales. Campos de cultivo. (España)	< 1 a 5 1	Metales pesados, plaguicidas, químicos policíclicos aromáticos (PACs), químicos fenólicos no halogenados (non-HPCs), plastificantes, contaminantes orgánicos persistentes (POPs), compuestos orgánicos volátiles (VOCs), solventes y otros residuos asociados a las industrias mencionadas.	Cáncer renal, leucemia	García-Pérez et al., 2016
Industria metalúrgica y energética, Planta cementera, de plaguicidas. Plantas de tratamiento de aguas residuales, vertedero de desechos peligrosos y depósitos de residuos de animales (España)	< 1 a 3	Metales pesados, plaguicidas, químicos policíclicos aromáticos (PACs), químicos fenólicos no halogenados (non-HPCs), plastificantes, contaminantes orgánicos persistentes (POPs), compuestos orgánicos volátiles (VOCs), solventes y otros residuos asociados a las industrias mencionadas	Cáncer de huesos	García-Pérez et al., 2017

Fuente	Distancia (km)	Compuestos identificados	Patologías en la población	Referencias
Cuerpos de agua superficiales				
Río Kymijoki, Finlandia	<1 a 19.9	Dibenzo-p-dioxinas policlorinadas (PCDD), 2,3,7,8-TCDD, dibenzofuranos (PCDF)	Cáncer (27 tipos diferentes)	Verkasalo et al., 2004
Ríos Sarno, Cavaiola y Solofrana, Italia.	<1	Cadmio, cromo, plomo, zinc, cobre, bromuros, nitratos, fosfatos sulfatos y microorganismos	Gastroenteritis	Motta et al., 2008
Ríos Tittabawassee y Saginaw, E.U.	Vecindad	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	Oyana y Guajardo, 2009
Río Fong Shan, Japón	0.225	26 tipos de compuestos orgánicos volátiles	Enfermedades crónicas obstructivas en pulmones, enfisema, bronquitis crónica, daño en hígado, riñones y neuropatías.	Juang et al., 2010

ANEXO 1B.

Tabla 16. Patologías asociadas a sitios con altos índices de contaminación, en donde la ruta de exposición es directa.

Fuente	Ruta de expo.	Substancias identificadas	Patologías	Referencia
Río Songhua, China	Consumo	138 compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos policíclicos aromáticos	Cáncer	Jia-Ren et al., 2009
Plantas de tratamiento de aguas residuales (lodos).	Inhalación de aerosoles o contacto directo	Microorganismos patógenos, principalmente huevos de helminto (HH). Concentración: en países desarrollados de 1 a 13 HH/g; en países en vías de desarrollo de 60 a 735 HH/g.	Diversas enfermedades gastrointestinales.	Aguilar y Duran, 2010.
Habitantes y trabajadoras de sitios de reciclaje de desechos electrónicos, así como de zonas industriales, Accra, Ghana.	Leche materna	Residuos de PCBs (bifenilos policlorados), PAHs (hidrocarburos policiclicos aromaticos) y 14 diferentes OCPs (plaguicidas organoclorados).	Cáncer	Asamoah, 2017.

ANEXO 2

Tabla 17. Efectos adversos a la salud, por exposición a metales pesados.

Metales pesados		
<p>Son capaces de catalizar el deterioro oxidativo de las biomoléculas. La exposición a metales tóxicos induce la generación directa o indirecta de radicales libres en los biosistemas. La acumulación intracelular de radicales libres, como las especies reactivas de oxígeno y las especies reactivas de nitrógeno, se denomina estrés oxidativo e induce un desequilibrio redox celular asociado con la carcinogénesis y otros males (Preeyaporn K. et al., 2013).</p>		
Metal	Patologías asociadas a su exposición	Fuente
arsénico, cadmio, cromo, plomo, el mercurio y el níquel	Cáncer	Preeyaporn K. et al., 2013.
Plomo	Trastornos neurológicos, hipertensión, deficiencias cognitivas.	Wu et al., 2016.
Mercurio	Retraso mental, parálisis cerebral, sordera, ceguera y disartria, especialmente en niños expuestos en el útero. En general reduce la función cognitiva.	Wu et al., 2016 y Landringan et al., 2017.
Cadmio	Se acumula en los huesos humanos, los pulmones, el hígado, los riñones y los tejidos nerviosos, lo que provoca daños y mal funcionamiento.	Wu et al., 2016.
Arsénico	Carcinoma hepatocelular, melanosis, hiperqueratosis, diabetes mellitus, hipertensión, cánceres, cirrosis, fibrosis hepática y daño de las células parenquimatosas. La exposición a As se ha relacionado con la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y las hipertensiones. Las exposiciones crónicas se asocian con daño hepático y renal, anemia, neuropatía periférica y mucosas e irritaciones de la piel.	Wu et al., 2016 y Landringan et al., 2017.