



Universidad Veracruzana

**UNIVERSIDAD VERACRUZANA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ZONA XALAPA**



**PROGRAMA EDUCATIVO:
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“ANÁLISIS DEL FACTOR ANTRÓPICO, CALIDAD DEL AGUA Y SALUD EN LA
MICROCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, VERACRUZ”**

TESIS

Que para acreditar la Experiencia Educativa:

Experiencia Recepcional

Presenta:

LUIS ALEJANDRO USCANGA MORALES

Asesor:

Dra. María del Socorro Menchaca Dávila

Xalapa, Ver., Septiembre 2014

La presente tesis se elaboró en el marco del modelo científico del Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, ABCC (Agua, Bosques, Cuencas y Costas), es decir, la determinación y construcción del objeto de estudio, el marco teórico – conceptual y metodológico, así como el seguimiento del desarrollo de las distintas fases de la investigación, estuvo a cargo de la asesoría permanente de la Dra. Socorro Menchaca Dávila, Coordinadora Académica del OABCC, cuya sede está en el Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana, entidad académica en donde se desarrolló la tutoría y estancia científica de la investigación.

A dios, por guiarme en este camino y darme la fortaleza para concluir cada etapa de mi vida.

A mi familia, por apoyarme y preocuparse durante todo el proceso. Especialmente a mi madre, a ella debo todo mi trabajo y esfuerzo. Mi amiga, y madre incondicional, la que siempre me ha acompañado en cada una de mis decisiones. Este logro es de los dos.

A la doctora Socorro Menchaca, quien fue mi guía y amiga durante mi estadía en el Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, ABCC. Persona que admiro y respeto, y deseo seguir colaborando.

A mis mejores amigos y buenos amigos, que estuvieron siempre pendientes del desarrollo de mi tesis, con los que compartí momentos inolvidables y me daban ánimo para seguir adelante cuando me mostraba impaciente. A todos ellos los quiero y aprecio.

A mis compañeros del OABCC, con quienes conviví durante mi estadía, y que también me apoyaron con la tesis. Amigos y estudiantes entusiastas: Beto, Ari, Ituriel, éste último, aunque se haya desaparecido; a los nuevos integrantes, Pablo, Ivonne y Joel. A la doctora Katrin Sieron, por brindarme su ayuda cuando la necesitaba. En general, a todo el personal del Centro de Ciencias de la Tierra.

I. INTRODUCCION.....	5
1.1 <i>Planteamiento del problema</i>	7
II. OBJETIVOS	10
III. JUSTIFICACIÓN	10
IV. MARCO TEÓRICO	12
CAPÍTULO 1.....	12
GLOBALIZACIÓN, NEOLIBERALISMO Y SUSTENTABILIDAD DEL DESARROLLO	12
1.1 <i>El proceso de globalización</i>	12
1.2 <i>La crisis ambiental y el principio de sustentabilidad</i>	17
1.3 <i>Neoliberalismo vs Desarrollo sustentable</i>	23
1.3.1 Neoliberalismo.....	26
1.3.2 Desarrollo sustentable	30
CAPÍTULO 2.....	37
LA PROBLEMÁTICA ACTUAL DEL AGUA.....	37
2.1 <i>Más allá de la escasez: poder, pobreza y la crisis mundial del agua.....</i>	37
2.2 <i>México ante la severa problemática del agua.....</i>	44
2.2.1 Disponibilidad.....	48
2.2.2 Calidad.....	53
2.2.2.1 Agua potable.....	57
2.3 <i>Los retos del agua en Veracruz.....</i>	60
2.3.1 La situación actual en la microcuenca del río Pixquiac	65
CAPÍTULO 3.....	70
SERVICIOS AMBIENTALES, FACTOR ANTRÓPICO, CALIDAD DEL AGUA Y SALUD	70
3.1 <i>La importancia de los ecosistemas.....</i>	70
3.2 <i>Servicios ambientales de bosques y cuencas</i>	78
3.3 <i>Problemática de las actividades antropogénicas que impactan en la calidad del agua superficial.....</i>	87

3.4	<i>La calidad del agua y su importancia para la salud humana</i>	91
3.5	<i>Enfermedades transmitidas por el agua</i>	94
V.	MARCO METODOLÓGICO	98
5.1	<i>Determinación del objeto de estudio</i>	98
5.2	<i>Determinación de las variables y construcción y/o análisis de bases de datos</i>	99
5.3	<i>Descripción de la zona de estudio</i>	112
5.4	<i>Ubicación de los sitios de muestreo para la calidad del agua y unidades médicas de salud</i>	118
5.5	<i>Instrumentos y procedimiento estadístico</i>	121
5.6	<i>Resultados, conclusiones y recomendaciones</i>	127
VI.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	128
6.1	<i>Factor antrópico</i>	128
6.1.1	<i>Zona alta</i>	131
6.1.2	<i>Zona media</i>	134
6.1.3	<i>Zona baja</i>	139
6.1.4	<i>Actividades antropogénicas que impactan a la calidad del agua superficial</i>	145
6.2	<i>Calidad del agua</i>	148
6.2.1	<i>Características químicas</i>	148
6.2.1.1	<i>Cianuro</i>	148
6.2.1.2	<i>Fosfatos</i>	153
6.2.1.3	<i>Fenoles</i>	157
6.2.1.4	<i>Detergentes</i>	161
6.2.1.5	<i>Nitratos y nitritos</i>	165
6.2.2	<i>Metales pesados</i>	171
6.2.2.1	<i>Arsénico</i>	171
6.2.2.2	<i>Plomo</i>	175
6.2.2.3	<i>Cadmio</i>	179
6.2.3	<i>Características bacteriológicas</i>	183
6.2.3.1	<i>Coliformes totales y Coliformes fecales</i>	183
6.3	<i>Salud</i>	190
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	198
VIII.	ANEXOS	202
IX.	BIBLIOGRAFÍA	203

I. INTRODUCCION

El agua, es uno de los recursos naturales más imprescindibles de la Tierra, por ello debe prestarse mayor atención a cualquier asunto que le competa, así mismo la información generada o los análisis que se le hagan, deben realizarse con frecuencia y ser actualizados de forma inmediata. En el presente trabajo de investigación, se establece como objeto de estudio la calidad del agua superficial para consumo humano.

De acuerdo con Peña (2004), puede presentarse escasez de agua debido a la disminución de la oferta, además del aumento de su demanda. Lo cual puede ser causado por la contaminación de los cuerpos de agua y el incremento poblacional, situación que requiere exista un control más estricto, en cuestión de ordenamiento ecológico, normatividad, políticas públicas, etc. Por ello, sus reservas (naturales y artificiales) y administración son primordiales. Pero son los tomadores de decisiones, de quienes depende que dicho control sea tomado en cuenta y

se disponga de un manejo adecuado de los problemas relacionados al agua.

El mismo autor (2004), señala que por ser antecedente de las demás fuentes de agua, por su calidad y disponibilidad, la lluvia es la proveedora primordial de agua. De ahí la importancia que tiene la preservación de los ecosistemas, principalmente los bosques, los cuales según Menchaca *et al.* (2011), desempeñan un papel importante en la regulación de los flujos hídricos ya que los cambios en la cobertura forestal pueden afectar la cantidad y la calidad de los flujos de agua, erosión, sedimentación, niveles freáticos y productividad acuática.

A lo largo del tiempo, se han presentado diversos factores que han traído implícitamente incrementos en la contaminación de los cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos. El crecimiento demográfico, por ejemplo, ha demostrado que el incremento de la población es directamente proporcional al incremento de la demanda de recursos naturales, pues en ocasiones, se ha tenido que llegar incluso, al desabastecimiento de algún recurso

natural, tal es el caso de algunos ríos o arroyos, cuyo caudal ha disminuido severamente, llegando incluso a secarse en épocas de estiaje. Ello puede deberse principalmente, a las actividades productivas, las cuales demandan grandes cantidades del recurso, siendo la actividad agrícola la que más agua requiere. La ausencia de políticas públicas sólidas en materia de agua, es un factor más que requiere ser intervenido, pues hasta el momento los problemas de escasez, contaminación, calidad y disponibilidad del agua persisten de manera alarmante en gran parte del mundo. Como resultado, se ha generado un impacto y riesgo ambiental que representa en la actualidad un verdadero y preocupante problema (PND, 2007-2012).

De continuar tolerando la forma actual de explotar los recursos naturales para sustentar las diferentes actividades productivas en el mundo y principalmente en nuestro país, es casi seguro prever que no habrá un control adecuado de éstas para prevenir que haya contaminación de los ecosistemas, y si a esto le sumamos los problemas que existen de contaminación de cuerpos de agua superficiales por descargas de aguas residuales, nos da como resultado

un deterioro ambiental que debe ser interceptado de manera inmediata, antes de que la degradación llegue a ser total. Por otra parte, debe tomarse cuenta que el agotamiento de los recursos hídricos, trae como consecuencia no sólo afectaciones ambientales, sino también problemas de carácter económico y social, agravándose esta situación cuando se trata de escasez de agua potable, la cual es imprescindible para satisfacer las necesidades básicas de los seres humanos.

Cabe mencionar que la disponibilidad de agua en México presenta una desigual distribución regional y estacional que dificulta su aprovechamiento. En el norte del país, la disponibilidad de agua por habitante alcanza niveles de escasez críticos, mientras que en el centro y en el sur es “abundante”. Entre los años 2000 y 2005, la disponibilidad por habitante disminuyó de 4,841 m³/año a 4,573 m³/año, y los escenarios establecidos por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), así como las proyecciones de población del Consejo Nacional de Población (CONAPO), indican que, para el año 2030, la disponibilidad media de agua por habitante se reducirá a 3,705 m³/año (PND, 2007-2012).

Aunado a lo anterior, en México las políticas públicas en materia de agua, se han declarado en torno al cuidado de los acuíferos y de las cuencas hidrológicas. Se ha establecido que es fundamental para asegurar la permanencia de los sistemas que hacen posible el abasto para cubrir las necesidades básicas de la población, (PND, 2007-2012); sin embargo, las fuentes hídricas en el país continúan contaminadas, ante una deficiencia de las políticas públicas que permitan detener su creciente deterioro.

Considerando que la problemática en torno al agua es uno de los temas más importante de índole mundial que debe ser solucionado de forma inmediata, se contempla el estudio y análisis de la calidad del agua en la microcuenca del río Pixquiac. Se realiza esta investigación con el fin de conocer en qué condiciones se encuentran los cuerpos de agua, utilizando parámetros físicos, químicos y bacteriológicos. A su vez, debe llevarse a cabo la determinación de las actividades antrópicas, sus fuentes de contaminación y los contaminantes que impactan en la calidad del agua superficial, la cual se ve afectada por los

diversos efectos antrópicos generados a partir de las actividades productivas de la región. Problemática que es causa de las diversas enfermedades que existen en la zona de estudio relacionadas a la mala calidad del agua. A partir de los resultados, especial atención tiene buscar alternativas de manejo integral de los recursos hídricos, para contribuir con una mejora en la calidad del agua que permita ayudar a la preservación de dicho recurso.

1.1 Planteamiento del problema

Los cuerpos de agua superficiales son los ríos, lagos, manantiales, presas, etc. Estos cuerpos aportan cerca de 30% del total de agua para consumo humano (uso municipal). Por su característica de estar expuestos, y en especial por el modo en que se ha concebido la disposición de desechos líquidos y sólidos –que consiste en descargar el agua residual y la basura en ellos-, estos cuerpos son altamente propensos a sufrir problemas de contaminación (Benítez, 2013).

Si a esta situación, le sumamos la problemática de los acuíferos, que como ya se mencionó anteriormente, estos han sido objeto de sobreexplotación, destacando como principal uso la producción agrícola. Nos estaríamos enfrentando a una probable crisis del imprescindible líquido. A pesar de ello, los datos acerca de su cantidad y calidad son más limitados que para el agua superficial, lo cual de alguna forma refleja la baja prioridad que este recurso tiene para los gobiernos federal, estatal y municipal. De hecho, la falta de datos públicos sobre la calidad de estos cuerpos de agua disminuye la presión por contar con programas para su preservación (Benítez, 2013).

Simultáneamente, los acuíferos y los cuerpos de agua superficiales, están siendo deteriorados por diversas causas antropogénicas; por tal razón, es importante contar con datos actualizados y completos acerca de su calidad y evolución de la misma a lo largo de varios años e incluso a través de un mismo año.

Entre las actividades cuyos efectos antrópicos impactan a los servicios ambientales de las cuencas

hidrológicas, se encuentran la agrícola, industrial, doméstica, pecuaria y acuícola. A partir de estudios previos, se determina que en la microcuenca del Pixquiac son la actividad agrícola y doméstica las que causan mayores afectaciones a la calidad del agua superficial. Para la actividad agrícola por ejemplo, se utilizan productos químicos para combatir las plagas o las malas hierbas, por tanto, estas sustancias son arrastradas por escorrentía hacia los cuerpos de agua superficial. En cuanto a la actividad doméstica, esta es la responsable de que grandes cantidades de materia orgánica sean depositadas en los cuerpos de agua. Una cantidad considerable de materia orgánica en el agua representa un problema de descomposición de la misma, es decir tiende a una mayor demanda bioquímica de oxígeno (DBO). En condiciones extremas, todo el oxígeno disuelto desaparece (condiciones anaerobias), generando la muerte de especies de flora y fauna, enfermedades múltiples que afectan de manera significativa a los habitantes de la región además de producir olores desagradables (Menchaca, Hernández y Alvarado, 2011). Mientras tanto, la mala salud asociada a los déficits de agua y saneamiento afecta a la productividad

y el crecimiento económico, reforzando las desigualdades características de los actuales modelos de globalización y confinando en ciclos de pobreza a los hogares vulnerables (PNUD, 2006).

En consecuencia tenemos una problemática compleja, donde el hombre ha hecho uso irracional de los bienes ambientales, quedando muy claro que las actividades antropogénicas repercuten en los ecosistemas. De acuerdo con (Menchaca y Alvarado 2011) debido al deterioro ambiental que se ha provocado, es necesario proponer mecanismos de recuperación de la naturaleza, donde se tomen en cuenta los bienes proporcionados por el ambiente; tal es el caso del desarrollo sustentable, que en sus bases establece la conservación de los recursos naturales a una escala intergeneracional. Por esta razón, es pertinente desarrollar proyectos para la mitigación de los efectos adversos provocados por el hombre.

Dicho lo anterior, tenemos un ecosistema susceptible a la mano del hombre, que bajo los efectos de la contaminación, deforestación, sobreexplotación, entre otros,

puede llegar a mermar la prestación de servicios ambientales, y por ende llevarnos a la decadencia de la calidad del agua, que a su vez se ve reflejada, en la disminución de la disponibilidad. Una vez determinado el objeto de estudio, es preciso resolver la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la relación que existe entre el factor antrópico, calidad del agua y salud en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz?

Así mismo, de acuerdo a la pregunta de investigación planteada, se desprende la siguiente hipótesis:

Las actividades antropogénicas de los usuarios del agua en la microcuenca del río Pixquiac, generan impactos adversos sobre la calidad del agua superficial destinada al consumo humano, situación que afecta la salud de la población.

II. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar los efectos del factor antrópico sobre la calidad del agua superficial para consumo humano, y la salud de las poblaciones en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Relacionar las actividades antropogénicas con las posibles afectaciones a la calidad del agua superficial.
- Detectar los principales indicadores químicos y/o bacteriológicos, así como la presencia de algunos metales pesados, que originan la contaminación de los cuerpos de agua superficiales.
- Detectar cuáles son los indicadores de la calidad del agua que se encuentran en su mayoría excedidos, de acuerdo a la normatividad.

- Diseñar dos bases de datos, sobre calidad del agua y salud.
- Determinar si existe influencia de la calidad del agua sobre la salud de las poblaciones de la microcuenca.
- Analizar el marco regulatorio relacionado a la calidad del agua para consumo humano.

III. JUSTIFICACIÓN

Las actividades antrópicas están relacionadas con la degradación ambiental, ya que toda explotación de los recursos naturales implica de un modo inevitable su agotamiento parcial o total, así como la degradación del paisaje y la generación de desechos, entre otros (Menchaca, Alvarado y Hernández, 2011).

Por otra parte, el manejo inadecuado de los recursos hídricos ha generado problemas como la proliferación de enfermedades por la falta de agua potable para consumo humano, debido a su contaminación, y la imposibilidad de garantizar el abasto presente y futuro debido al agotamiento

de los mantos acuíferos. Es común que quienes menos recursos tienen paguen más por el agua potable, lo cual impide romper el círculo transgeneracional de la pobreza (PDN, 2007-2012). Sin embargo, la disponibilidad del agua en calidad y cantidad es un problema creciente en México, que afecta a todos, principalmente a las clases económicas más desprotegidas.

Hoy en día, los acuíferos existentes han sido objeto de sobreexplotación que los abate a una tasa sin precedentes debido, en parte, a que una alta proporción de la producción agrícola depende precisamente del agua subterránea. La deforestación y degradación del suelo, la salinización y explotación del agua, la contaminación por residuos químicos y fertilizantes, y los desechos humanos en general, son problemas de la mayor seriedad presentes en muchas partes del mundo, y sin duda en México (Octavio, 2013).

Debido a estas circunstancias, resulta importante la realización de estudios que permitan el análisis y/o la evaluación de la calidad del agua en los diferentes cuerpos

naturales, ya sean superficiales o subterráneos; así mismo, la generación de bases de datos que puedan ser utilizadas como herramienta proveedora de información útil, pertinente y provisoria para fundamentar la calidad del agua de los diferentes cuerpos naturales. Se considera que lo anteriormente expuesto pueda ser considerado una alerta ante la escasez del recurso hídrico, debido a la sobreexplotación del agua, que de manera paulatina está alterando los ecosistemas. Por tanto deben impulsarse acciones que contribuyan al manejo adecuado del recurso hídrico, siendo esto una gran labor para los tomadores de decisiones. Ya que si se continúa tolerando las condiciones actuales, existe la probabilidad de que se llegue a una etapa de desabastecimiento o inclusive hasta una crisis del recurso. Al respecto, se pueden identificar alternativas que permitan hacer un mejor uso de este recurso, para su conservación y óptimo aprovechamiento, incluyendo tecnologías avanzadas para riego y reciclaje de aguas residuales.

IV. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presentan los tres capítulos que integran el marco teórico, el cual está conformado por los temas que son necesarios abordar para el entendimiento de las problemáticas complejas que se analizan en el presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO 1.

GLOBALIZACIÓN, NEOLIBERALISMO Y SUSTENTABILIDAD DEL DESARROLLO

1.1 El proceso de globalización

Es probable que al escuchar la palabra globalización, lo primero que se venga en mente sean términos como

“fenómeno mundial” o “sistema económico del siglo actual”. Al decir que la globalización es de competencia mundial, de una u otra forma se estará acertando, pero no es precisamente un proceso novedoso. Cruz (2002) argumenta que la globalización sólo podemos definirla como una etapa histórica, cuyo significado y desarrollo futuro aún desconocemos, pero que inevitablemente habrá de ser considerado por los historiadores como un proceso complejo. Por su parte, López y Borja (2012) comentan que reflexionar sobre dicho proceso, es una práctica tan usual como diversa en contenidos y enfoques metodológicos, pues el pensamiento sobre un fenómeno de orden planetario que ha trastocado los modos de vida presuntamente civilizados de individuos, colectivos, instituciones y todo tipo de formaciones sociales, se ha reproducido de forma tan acelerada como extensa.

De acuerdo a Lichtensztein (2012), el concepto de globalización comenzó a utilizarse recién a partir de la década de los años 80 del siglo pasado, cuando la revolución de la informática y las comunicaciones avanzó de manera espectacular y las políticas económicas

neoliberales se volvieron hegemónicas en numerosos países. De igual manera, Todaro (2000) afirma que el proceso de globalización ha sido apoyado por la revolución informática y de las comunicaciones que da la base tecnológica para que esa operación en tiempo real pueda producirse.

Ese término, por la vía mediática y por su amplia aceptación en los círculos intelectuales, se convirtió de hecho en una categoría universal que ha pasado, incluso, a ser parte del lenguaje y el imaginario colectivo. Así, valores, fenómenos y problemas en materia económica, política, ecológica, educativa y cultural, entre los principales campos, son muchas veces atribuidos genéricamente a la globalización, cualquiera que sea su naturaleza y origen (Lichtensztein, 2012).

No obstante, la globalización entendida como un proceso dinámico que desborda una visión simplificada y reducida, ha cumplido varias fases si se le refiere como un proceso del sistema capitalista. De esta forma, es que se ha tratado de entender la globalización como un proceso

asociado a la particular dinámica que caracterizó a las fuerzas productivas y financieras en determinados momentos del capitalismo contemporáneo (Lichtensztein, 2012).

Coincidiendo con Lichtensztein (2012), acerca de que el término globalización es incluido en fenómenos y problemas en materia económica, política, ecológica, educativa, y cultural, entre otros más, es ineludible distinguir que dentro del ámbito económico, la globalización se ha cimentado como un proceso de gran realce, donde sin duda alguna mantiene estrecha relación con el capitalismo, definido por Stiglitz (2010) como un orden socioeconómico que se encuentra mayormente determinado por relaciones económicas concernientes a las actividades de inversión y obtención de beneficios.

Se puede decir que la interpretación de la globalización depende en su mayoría del contexto o enfoque que se le atribuya, ya que, de acuerdo a Lichtensztein (2012), la perspectiva de la globalización como un proceso unificador de las relaciones sociales a

escala universal, no se corresponde plenamente con la realidad, pues se han traspasado las jurisdicciones y las soberanías nacionales, provocándose un claro deterioro de la gobernabilidad de los Estados y una pérdida de identidades nacionales. Quizás, en el plano de las comunicaciones y en el campo financiero es donde este concepto adquiere mayor vigor y validez.

De acuerdo con Leff (2004), el discurso dominante de la globalización promueve un crecimiento económico sostenido, desconociendo y negando las condiciones ecológicas y termodinámicas para la apropiación y transformación de la naturaleza. De tal manera que la naturaleza está siendo incorporada al orden económico mundial mediante una doble estrategia: por una parte se intenta internalizar los costos ambientales del progreso, y por la otra, se recodifica al individuo, a la cultura y a la naturaleza como formas aparentes de una misma esencia: el capital. Así, los procesos ecológicos y simbólicos son reconvertidos en capital natural, humano y cultural, para ser asimilados al proceso de reproducción y expansión de la

economía, mediante una gestión económicamente racional del ambiente.

Tomando en cuenta la perspectiva mencionada por Leff (2004), deberíamos estar regidos bajo un sistema económico estable y, principalmente, gobernados por un sistema que incluya la gestión económicamente racional del ambiente. Pero tal sistema es ilusorio. En contraste, sí podemos enlistar numerosas instituciones económicas conexas al proceso de globalización, las cuales en lugar de favorecer el crecimiento y desarrollo de los llamados países del tercer mundo, han generado un desequilibrio, que los afecta. Referente a ello, Stiglitz (2010) señala que el problema de las instituciones económicas internacionales subyace en quién las gobierna, es decir, quien decide qué hacen, además de quien habla en nombre del país. Para nadie es un secreto que los encargados de tomar las decisiones son los ocho países más industrializados: Canadá, Alemania, Francia, Italia, Reino Unido, Japón, Estados Unidos y China, mediados por los intereses comerciales y financieros de estos dos últimos, mismos que encabezan la lista.

De considerar la idea, de que la sociedad está regida por un sistema íntegramente económico, entonces, se estará enfrentando a una globalización económica, la cual ha transformado el ambiente y con ello han emergido luchas sociales por la propiedad y control de los recursos naturales. La capitalización de la naturaleza está generando diversas manifestaciones de resistencia cultural al discurso del crecimiento sostenible y a las políticas de la globalización, dentro de estrategias de las comunidades para autogestionar su patrimonio histórico de recursos naturales y culturales. Se está dando así una confrontación de posiciones, establecida entre los intentos por asimilar las condiciones de sustentabilidad a los mecanismos del mercado y un proceso político de reapropiación social de la naturaleza (Leff, 2004).

El mismo autor (2004), argumenta, que si en los años setenta la crisis ambiental llevó a proclamar el freno al crecimiento antes de alcanzar el colapso ecológico, en los años noventa la globalización económica aparece como su negación: hoy el discurso neoliberal afirma la desaparición de la contradicción entre ambiente y crecimiento. Se

propone así al mercado, como el medio más certero para internalizar las condiciones ecológicas y los valores ambientales al proceso de crecimiento económico. Desde otra perspectiva, Cruz (2002) menciona que el neoliberalismo inserto en el proceso de globalización económica, debilita los controles ejercidos por el Estado, y su función de garantizar los derechos sociales se diluye ante otras fuerzas que imponen sus directrices.

En la perspectiva neoliberal, los problemas ecológicos no surgen como resultado de la acumulación de capital. Al contrario, suponen que al asignar derechos de propiedad y precios a los bienes comunes, las clarividentes (aunque ciegas) leyes del mercado se encargan de ajustar los desequilibrios ecológicos y las diferencias sociales (Leff, 2004). Sin embargo, hoy en día, tales desequilibrios ecológicos y las acentuadas diferencias sociales, continúan encabezando la lista de problemáticas complejas, cuya solución, únicamente se basa en discursos y propuestas que meramente terminan en el olvido. Por ello, Leff (2004), argumenta que la globalización se ha convertido en una mirada glotona más que una visión holística; en lugar de

integrar a la naturaleza y a la cultura como soportes de la producción, engulle racionalmente al planeta y al mundo a un orden económico que predomina sobre las esferas de la sociabilidad, los valores éticos y el sentido de la existencia. Esta operación simbólica somete a todos los órdenes del ser a los dictados de una racionalidad globalizante. De esta forma, prepara las condiciones ideológicas para la capitalización de la naturaleza y la reducción del ambiente a la razón económica.

A pesar de que se ha referido a la globalización, como un proceso antagonista, existen especialistas en el tema, quienes reconocen que la globalización conlleva riesgos, pero también oportunidades. Según la CEPAL, PNUMA (2002), el proceso globalizador ha permitido a la mayoría de los países de América Latina y el Caribe un acceso más dinámico a los mercados de capital y a las inversiones, aunque también ha incrementado la vulnerabilidad económica de la región debido a la volatilidad financiera. Lo fundamental es darse cuenta que la proporción entre estas dos posibilidades no está predeterminada ni es inamovible. Se pueden disminuir los

riesgos y aumentar las oportunidades mediante la creación de nuevas reglas que “domestiquen” y encaucen la globalización por vías que faciliten el desarrollo sustentable de todos los países, en particular de aquellos más vulnerables. También impulsar un conjunto de políticas que articulen la dimensión ambiental con la económica y social, aplicando sus correspondientes estrategias e instrumentos tanto en el plano interno como en el plano externo, que están interrelacionados.

En adición a lo anterior, Stiglitz (2010), dictamina que lo que se necesita es una globalización con un rostro más humano, es decir, más justa y más eficaz para elevar los niveles de vida, especialmente de los pobres. Aunque si es necesario hacer un cambio total en las instituciones económicas internacionales, no sólo se trata de ello, sino también cambiar el propio esquema mental en torno a la globalización. Además, prescribe la necesidad de modificar el concepto de ayuda implementado por el sistema financiero mundial, ya que éste se limita a designar condiciones respecto del auxilio, olvidando que los países se resienten por las reformas, y realmente no las asumen ni

se comprometen con ellas. Stiglitz (2010), también demanda una condonación de la deuda para que los países en desarrollo puedan crecer, es decir, que éstos tengan la oportunidad de hacer otro uso de sus recursos financieros, de tal manera que impulsen el desarrollo en cualquier ámbito, y que a su vez no fijen toda la atención en un desarrollo a nivel macroeconómico, si no que haya un bienestar social a escala humana.

A pesar de todas las posibilidades de cambio que los diferentes autores y/o especialistas plantean, actualmente, la sociedad continua siendo dominada por un sistema neoliberal, cuyas consecuencias de manera sinérgica han impactado en el ámbito económico, social y ambiental. Por lo tanto, cualquier alternativa o propuesta que sea presentada por ellos mismos, debería ser al menos considerada para su posible aplicación, para hacer pequeños ajustes de manera global, ya no para revertir los daños, sino para impedir que se continúen degradando los ecosistemas y la economía de las naciones.

Tal parece ser que neoliberalismo y globalización son dos términos necesariamente vinculados. Por una parte, la globalización responde a una etapa de la historia con manifestaciones únicas de la época contemporánea, como es la nueva tecnología, los conflictos sociales que generan los diversos procesos del acontecer humano y el intento de unificación de mercados, a su vez, el neoliberalismo, que como se verá más adelante, intenta justificarse en esquemas económicos acerca de la concepción social de la historia, no obstante que su composición está enmarcada dentro de referencias dogmáticas en la aplicación práctica de políticas económicas (Cruz, 2002).

1.2 La crisis ambiental y el principio de sustentabilidad

Las reiteradas y cada vez más agudas manifestaciones de la precariedad en que se encuentran los sistemas naturales que permiten la vida en el planeta, han dado lugar a la percepción de que la humanidad atraviesa una crisis (económica, sociopolítica, institucional y ambiental) cuyos

efectos trascienden las fronteras nacionales. Corresponde pues afirmar que la sociedad global de principio del siglo XXI se ve enfrentada, no a una nueva crisis de las tantas que la han caracterizado, sino que al agotamiento de un estilo de desarrollo que se ha revelado ecológicamente depredador, socialmente perverso y políticamente injusto, tanto nacional como internacionalmente (Guimarães, 2000).

Aunque en la historia de la humanidad, en efecto, se han presentado diversas crisis, principalmente de tipo económico y sociopolítico, por mencionar algunas, hoy en día, a pesar de que ciertos aspectos económicos y políticos prevalecen, ha surgido la necesidad de enfocar la atención a una probable crisis ambiental, que como se ha mencionado, tiene sus antecedentes en un estilo de desarrollo ecológicamente depredador, y que sin duda alguna continuará avanzando, a no ser que verdaderamente se detenga el proceso de deterioro ambiental. Guimarães (2000), afirma que existen dos causas básicas de la crisis ambiental, las cuales son la pobreza y el mal uso de la riqueza: los pobres del mundo son compelidos a destruir en el corto plazo precisamente los recursos en que se basan

sus perspectivas de subsistencia en el largo plazo, mientras la minoría rica provoca demandas en la base de recursos que a la larga son insustentables, transfiriendo los costos una vez más a los pobres.

Lo anterior, plantea la necesidad de sustituir los modelos actuales que rigen al mundo de la economía. Es imprescindible acentuar, que la economía depende en un 100 por ciento de los recursos naturales, a pesar de ello, no existe la conciencia, el respeto y la preservación que estos merecen. Por el contrario, se ha hecho uso desmesurado y acelerado de los recursos naturales, originando incluso la destrucción total de algunos ecosistemas. Existe entonces, una degradación ambiental, que está avanzando desenfrenadamente, la cual de acuerdo a Leff (2004), es el síntoma de una crisis de civilización, marcada por el predominio de la tecnología sobre la naturaleza. También considera que la crisis ambiental es la crisis de nuestro tiempo. No es una catástrofe ecológica, sino el efecto del pensamiento y las acciones puntuales con los que se ha construido y destruido nuestro mundo.

Lo anteriormente expuesto, puede ser considerado entonces, como una crisis civilizatoria, ya que la sociedad misma ha construido un escenario donde el deterioro ambiental es evidente, debido a la satisfacción de las necesidades básicas del hombre, pero sin responsabilizarse de los desechos generados en cada uno de los procesos de producción para satisfacer dichas necesidades. La crisis civilizatoria, se presenta entonces, como un límite en el orden de lo real que resignifica y reorienta el curso de la historia: límite del crecimiento económico y poblacional; límite de los desequilibrios ecológicos, de las capacidades de sustentación de la vida y de la degradación entrópica del planeta; límite de la pobreza y la desigualdad social.

Pero esta crisis, no debe ser algo que estremezca a la humanidad, ya que no es novedosa, desde hace tiempo la sociedad ha tenido la necesidad de enfrentar ciertos problemas relacionados al medio ambiente. De acuerdo a Sachs (1882), citado en Leff (2004), la crisis ambiental se hace evidente en los años setenta, reflejándose en la irracionalidad ecológica de los patrones dominantes de producción y consumo, y marcando los límites del

crecimiento económico. De esta manera, se inicia el debate teórico, y político para valorizar a la naturaleza e internalizar las “externalidades socioambientales” al sistema económico.

Como ya se mencionó, formamos parte de una sociedad global, la cual se ve enfrentada al agotamiento de un estilo de desarrollo, que de acuerdo a López (2004), está basado en la industrialización y es conducido por un Estado, el cual es la instancia a la que la sociedad le otorga el deber de generar bienestar social. En el caso de México, si bien se alcanzó cierto desarrollo, éste no abarcó al conjunto de los mexicanos pues se logró a costa de grupos y regiones rezagados y que hoy forman los enormes contingentes de pobres.

Por lo tanto, fue tal estilo de desarrollo el que condujo a la sociedad a las situaciones ambientales desfavorables que hoy enfrenta, a partir del cual surgió la necesidad de idear sistemas o algún desarrollo que se encargue de la protección de los ecosistemas, en este caso el desarrollo sustentable, el cual tiene sus raíces en la

sustentabilidad ecológica, la cual Leff (2004), menciona que aparece como un criterio normativo para la reconstrucción del orden económico, como una condición para la sobrevivencia humana y para el logro de un desarrollo durable, problematizando los valores sociales y las bases mismas de la producción.

En el contexto de la globalización, el principio de sustentabilidad emerge como la marca de un límite y el signo que reorienta el proceso civilizatorio de la humanidad. La crisis ambiental vino a cuestionar la racionalidad económica y los paradigmas teóricos que han impulsado y legitimado su crecimiento, negando a la naturaleza. La sustentabilidad aparece así como un criterio normativo para la reconstrucción del orden económico, como una condición para la sobrevivencia humana y un soporte para lograr un desarrollo durable, problematizando las bases mismas de la producción. (Leff, 2004).

El mismo autor (2004), argumenta que a solicitud del secretario general de las Naciones Unidas se constituyó la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo para

evaluar los procesos de degradación ambiental y la eficacia de las políticas ambientales para enfrentarlos. Luego de tres años de estudios, discusiones y audiencias públicas sobre esta problemática, la Comisión publicó sus conclusiones en 1987 en un documento intitulado *Nuestro futuro común*, conocido también como el *informe Bruntland*. *Nuestro futuro común* reconoce las disparidades entre naciones y la forma como se acentúan con la crisis de la deuda de los países del tercer mundo. Al mismo tiempo, busca un terreno común donde plantear una política de consenso capaz de disolver las diferentes visiones e intereses de países, pueblos y grupos sociales que plasman el campo conflictivo del desarrollo sustentable. Así empezó a configurarse un concepto de sustentabilidad como condición para la sobrevivencia del género humano, buscando un esfuerzo compartido por todas las naciones del planeta. De allí se definió la sustentabilidad *como el proceso que permite satisfacer las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades. Para lograrla hay que tomar en cuenta los factores implícitos en esta definición, que son: bienestar, desarrollo, medio ambiente y futuro*. El

concepto de sustentabilidad parte del reconocimiento de la función que cumple la naturaleza como soporte, condición y potencial del proceso de producción. De igual manera Foladori (1999), reafirma que el concepto de sustentabilidad asociado al desarrollo sustentable incluye no sólo legar a las futuras generaciones un mundo material (biótico y abiótico) igual o mejor al actual, sino también, una equidad en las relaciones intrageneracionales actuales, es decir, una equidad que sea considerada para cada una de las generaciones existentes en el planeta.

Respecto al documento o informe mundial de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Provencio y Carabias (1992), comentan que dicho informe partía de que el desarrollo sustentable sólo puede entenderse como proceso, y que sus restricciones más importantes tienen relación con la explotación de los recursos, la orientación de la evolución tecnológica y el marco institucional. Asumía, además, que su cumplimiento supone crecimiento económico sobre todo en los países en desarrollo, y que el crecimiento debe enfatizar sus aspectos cualitativos, principalmente los relacionados con la equidad,

el uso de recursos (en particular la energía), y la generación de desechos y contaminantes. Hacía énfasis, también, en que el desarrollo debe enfocarse a la superación de los déficits sociales en necesidades básicas. El informe reconocía la necesidad de realizar más esfuerzos por estabilizar la población en el mundo y de distribuirla mejor.

Sim embargo, todas aquellas expectativas que se cimentaron en la década de los 80's, para construir precisamente un futuro común, hasta al momento no han arraigado. Por el contrario, se hacen evidentes las disparidades entre los diversos sistemas que rigen a la humanidad. Tal vez, lo que si se ha logrado, es un abuso de la palabra "sustentabilidad" o "sustentable". Ya que muchas empresas, o artículos presentes en el mercado, que ni siquiera comprenden la noción de lo que es la responsabilidad con el medio ambiente, son disfrazados de sustentables, existiendo bajo la imagen del color verde, usado comúnmente para la supuesta sustentabilidad.

De acuerdo con Barkin (2003), el interés en la sustentabilidad se ha globalizado, reflejando el miedo generalizado al deterioro de la calidad de vida. Los sistemas productivos y los patrones de consumo existentes amenazan la continuidad de nuestras organizaciones sociales; además, los patrones actuales de desarrollo son injustos y antidemocráticos. Como reacción, surge el espectro de la desintegración de los sistemas presentes: social, político, productivo y, aun, de riqueza personal. Argumenta que una estructura diferente, más acorde con las posibilidades de la tierra para mantener y reproducir la vida, debe reemplazarlos. Saldívar (2008), menciona que la sustentabilidad requiere de un equilibrio dinámico entre todas las formas de capital financiero, social, humano y natural en donde se genere un crecimiento económico, como medio para alcanzar un nivel de bienestar adecuado con el mínimo impacto hacia el medio ambiente y los recursos naturales.

Barkin (2003), agrega que la sustentabilidad no es “simplemente” un asunto del ambiente, de justicia social y de desarrollo. También se trata de la gente, y de nuestra

sobrevivencia como individuos y culturas. La sustentabilidad es entonces acerca de una lucha por la diversidad en todas sus dimensiones. Una estrategia para promover la sustentabilidad debe centrarse en la importancia de la participación local y en la revisión de la forma en que la gente vive y trabaja. La cuestión de la autonomía y la autarquía locales y regionales es una parte importante de cualquier discusión sobre la integración nacional o internacional.

Por lo anterior, es acuciante esclarecer cuál es la estructura que debe ser asentada para cimentar un desarrollo sustentable, cuya prioridad sea equilibrar el sistema económico, social, ambiental y cultural. Aún existe demasiado por hacer, y así poder frenar la degradación preocupante que hoy en día enfrenta el planeta tierra, causada por la especie depredadora más despiadada que es el hombre, la cual, se remonta a poco tiempo atrás. Según Leff (2004), en los años setenta la crisis ambiental llevó a proclamar el freno al crecimiento económico antes de llegar al colapso ecológico. Si consideramos entonces, tal periodo de tiempo que se ha venido alterando y

transformando los diversos ecosistemas, es necesario darse cuenta que realmente no ha sido un lapso de tiempo demasiado largo, es hace poco tiempo que tal degradación ambiental se ha venido suscitando, pero a una velocidad impresionante. Si se continua impactando de forma negativa al medio ambiente, es probable que se lleguen a aceptar las diversas hipótesis basadas en estimaciones para los años 2030, 2050 o más, respecto a los escenarios de escasez de agua, deforestación de bosques y selvas, desertificación, entre otros, siendo las primeras víctimas los países menos desarrollados. Dichas estimaciones son tan alarmantes y exhaustivas, que realmente deberían preocupar a la sociedad, pues para los años previstos ya habrá pasado casi un siglo desde que se comenzó a hacer uso desmedido de los recursos naturales.

Es preciso acentuar, que nos encontramos a la mitad del proceso, en un tiempo determinante y a la vez oportuno para frenar la devastación de los ecosistemas y la colisión entre los grupos sociales. De no llegar a una pronta solución, o por lo menos a plantear propuestas que verdaderamente sean objetivas y dirigidas a favor del medio

ambiente, ya no para una medra en el mundo, sino para una estabilización de las circunstancias actuales. Probablemente, nos estaremos enfrentando al total desabastecimiento de los recursos naturales, y otras situaciones que regidas por un desequilibrio social, económico y ambiental, pudiesen desencadenar conflictos que culminen en guerra.

1.3 Neoliberalismo vs Desarrollo sustentable

Los recursos económicos, que de forma burda y más simplificada no es más que “dinero” son los responsables del poder jerárquico que caracteriza a cada una de las naciones, siendo los países más desarrollados los que abusan más y creen ser los poseedores, o más bien los merecedores de los recursos naturales de todo el mundo. Cerca del 90 por ciento del patrimonio biogenético de la humanidad se encuentra en los bosques tropicales de Sudamérica sometidos a una explotación irracional sin precedentes, provocada en buena medida por la acción de

intereses económicos y comerciales de países primermundistas (Guimarães, 2000).

Lo anterior, puede ser tan sólo una de las tantas caras que se le han atribuido al sistema neoliberal vigente. El neoliberalismo está exacerbando la polarización de la sociedad en todas sus dimensiones. El ajuste estructural, con su programa de integración a la economía internacional y de austeridad del sector público, ha reducido radicalmente las posibilidades de crecimiento equitativo y de satisfacción de las necesidades sociales. Para la mayoría de los latinoamericanos, esta apertura neoliberal es una pesadilla, debido a la caída del ingreso real, el creciente desempleo y el acelerado retiro de las redes de seguridad social (Barkin, 2003).

Por su parte, Guimarães (2000), argumenta que el neoliberalismo busca debilitar las resistencias de la cultura y de la naturaleza para subsumirlas dentro de la lógica del capital. Su propósito es legitimar la desposesión de los recursos naturales y culturales de las poblaciones dentro de un esquema concertado, globalizado, donde sea posible

dirimir los conflictos en un campo neutral. A través de esta mirada especular, se pretende que las poblaciones indígenas valoren sus recursos naturales y culturales como capital natural, que acepten una compensación económica por la cesión de ese patrimonio a las empresas transnacionales de biotecnología.

Principalmente, se puede dar cuenta que el sistema neoliberal objetiva impulsar un crecimiento económico, haciendo uso desmesurado de los recursos naturales. En contra parte, se ha insistido en la inclusión en el mercado de un desarrollo sustentable, de tal forma que podamos hacer uso de los ecosistemas y sus servicios ambientales, sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras, cuestión que se abordará más adelante.

De acuerdo a Leff (2004), la retórica del desarrollo sustentable ha reconvertido el sentido crítico del uso de los recursos naturales en un discurso voluntarista, proclamando que las políticas neoliberales habrán de conducirnos hacia los objetivos del equilibrio ecológico y la justicia social por la vía más eficaz: el crecimiento económico guiado por el libre

mercado. Este discurso promete alcanzar su propósito, sin una fundamentación sobre la capacidad del mercado para dar su justo valor a la naturaleza, para internalizar las externalidades ambientales y disolver las desigualdades sociales.

Lo que sí es imprescindible es delimitar cuál o cuáles deben ser los objetivos del desarrollo sustentable, de tal manera que no exista duda alguna, del futuro desarrollo que se busca aplicar. Recientemente, un grupo de científicos, liderados por David Griggs, publicó un artículo planteando la necesidad de formular seis Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS), que vinculen erradicación de la pobreza con la protección de la biósfera:

1. Vidas y medios de vida prósperos
2. Seguridad alimentaria sustentable
3. Seguridad del agua sustentable
4. Energía limpia universal
5. Ecosistemas sanos y productivos
6. Gobernabilidad para sociedades sustentables

Los principios rectores son la reducción de la pobreza y el hambre, el mejoramiento de la salud y el bienestar, así como la creación de patrones de consumo y producción sustentables (Griggs, 2013).

Hasta el momento se ha abordado la globalización como un sistema dinámico, que sin duda alguna, mantiene una amplia relación con la economía. Dicho sistema impulsa un crecimiento económico, el cual muestra indiferencia por las condiciones ecológicas, fundamentadas en la apropiación y transformación de la naturaleza. Aunado a ello, se ha manifestado la presencia de un sistema neoliberal, en el cual estamos inmersos, mismo que ha originado un desabastecimiento de recursos naturales, dicho de otra manera, una crisis ambiental, la cual ha llegado incluso a ser considerada ilusoria. También se ha argumentado, que la humanidad, más bien se enfrenta a un agotamiento de un estilo de desarrollo basado en la industrialización. Bajo estas circunstancias, ha surgido la necesidad de establecer un nuevo estilo, basado en la protección de los ecosistemas, como más adelante se expondrá.

Es así como se ha enmarcado al neoliberalismo como el antagónico y causante de una degradación ambiental, y se ha propuesto al desarrollo sustentable como la esperanza para la sobrevivencia humana y para el logro de un desarrollo durable. Es imprescindible analizar el origen de ambos sistemas y tratar de comprender cuáles son las expectativas de cada uno, o al menos el entendimiento del por qué han surgido como una alternativa o supuesta solución a los problemas que engloba a la humanidad, y cuáles son las consecuencias que estos conllevan.

1.3.1 Neoliberalismo

El término con el que se han designado a ciertas políticas económicas actuales se ha dado en llamar neoliberalismo, que según Cruz (2002), más bien debería denominarse neoliberalismo económico, el cual, según el mismo autor (2002), establece una serie de postulados de aplicación económica dictados por entes supranacionales, es decir, entidades que están por encima del ámbito de los gobiernos

e instituciones nacionales y que actúa con independencia de ellos.

Una de las peculiaridades del modelo neoliberal es el predominio de la razón económica sobre la política social, es decir, bajo el neoliberalismo la lógica del funcionamiento del mercado y la ganancia se convierten en los factores determinantes de la organización de la vida social. Nada fuera del mercado puede ser racional. En otras palabras, bajo el neoliberalismo lo fundamental de la economía es considerar el mercado total como el mecanismo más eficiente para la asignación de los recursos productivos; asimismo, para que el mercado funcione de manera adecuada se precisa la libertad de precios que se fijan a través del libre funcionamiento de la oferta y la demanda, esto es, sin interferencia política (social) alguna (Ornelas, 2000).

Por su parte, Foxley (1982), citado en Ornelas (2000), agrega que la apertura de la economía al comercio internacional y a los flujos de capital, el desarrollo de un sector financiero privado y la drástica disminución de la

injerencia del Estado en la economía constituyen elementos fundamentales de los nuevos programas neoliberales. Al respecto, Cruz (2002), señala que todos los países han adoptado políticas económicas de mercado, sin embargo, el carácter de la implantación de éstas varía entre los diferentes tipos de países. Mientras que la economía de mercado es una política económica en los países desarrollados, éstos gozan de una relativa libertad para cumplir con los postulados neoliberales, los cuales están en función del beneficio económico que proyecten hacia sus países y empresas. En cambio en los países en desarrollo no hay mayor margen de libertad y todo se circunscribe a los dictados del mercado.

Los organismos internacionales representan las instituciones visibles en la implantación de este tipo de políticas que encarnan los lineamientos establecidos por los estados hegemónicos, constituidos en los países más desarrollados y las empresas transnacionales. Desde la perspectiva del neoliberalismo, el Estado constituye una institución que funge como intermediaria entre estas políticas y su aplicación social, a través de una serie de

programas de diversa índole. En realidad, la fuerza motriz del neoliberalismo estriba en las políticas económicas de mercado y sus directrices constituyen los elementos que determinan la conducción de los países en la actualidad. (Cruz, 2002).

De acuerdo a lo anterior, hoy en día los países en desarrollo, tal es el caso de México y de casi todos los países en América Latina, se enfrentan a una serie de imposiciones por parte del Estado, las que a través de la inclusión de diversas políticas económicas han visto afectada la economía de dichos países que son vulnerables. Y para agravar aún más la situación de desventaja en la que han colocado, es un hecho la intrusión de las empresas transnacionales, misma que ha dado paso a la privatización de las empresas gubernamentales, y por si fuera poco, se pretenden privatizar los servicios públicos. Tan solo en el caso de México, Ornelas (2000), establece que el traslado de la propiedad pública a manos del sector privado, se emprendió con inusitada energía al grado de que rápidamente, en poco más de una década (periodo comprendido de 1982 a 1994), desaparecieron 939

entidades paraestatales, casi 80 por año y, aproximadamente, siete por mes.

En consecuencia, al agotarse las empresas paraestatales, se redujo, aunque no se detuvo, el ritmo de las privatizaciones. En 1996, los recursos de las pensiones de retiro pasaron a ser manejados por empresas privadas y más recientemente, en enero de 1999, el presidente de la República quien fuese Ernesto Zedillo, propuso privatizar la generación y distribución de la energía eléctrica, uno de los dos sectores estratégicos con presencia gubernamental, el otro es el petróleo (Ornelas, 2000).

Tanta ha sido la fuerza y cohesión con las que se ha mantenido el sistema neoliberal, que se puede llegar a pensar que el neoliberalismo se ha posesionado de una buena parte de los acontecimientos de la historia como una razón irremediable del destino de la humanidad. Sin embargo, las ideas en torno a éste responden a mecanismos muy propios de la economía de mercado para apropiarse de la historia de la humanidad. Más allá de meras conceptualizaciones teóricas que dan sustento al

neoliberalismo, a éste sólo debemos observarlo bajo la óptica de una serie de políticas que implantan los estados bajo las pautas de organismos y actores mundiales muy poderosos, lo que tiene significados globales en dos direcciones: por un lado, en sus directrices económicas mundiales y, por el otro, en los resultados económicos propios de su aplicación en el mundo, principalmente en aquellos países con altos niveles de pobreza, marginación y subdesarrollo. Visto desde esta perspectiva, el neoliberalismo es una manifestación propia del capitalismo que pretende presentarse como un hecho irremediable en el destino de las naciones y cuya puesta en práctica es dogmática (Cruz, 2002).

El paradigma neoliberal que tiene como postulado central el mercado no sólo como el mecanismo más eficiente para la asignación de recursos, sino como el único, ha convertido a la ganancia y su búsqueda en el valor más alto del hombre, motivo para la innovación y razón de ser del mundo. Bajo estas circunstancias, la participación individual de los agentes económicos en el mercado impide la expresión de los intereses generales de la sociedad en

una entidad como Estado; de esta manera, los proyectos estratégicos dejan de existir y la naturaleza se convierte en una mercancía más para la generación de ganancias, aunque sea a costa de su propia destrucción (Ornelas, 2000).

Sin duda alguna, lo anterior da prueba de lo que hasta el momento se ha vendido suscitando en el mercado. A través de diferentes medios se ha inculcado a la sociedad actual una cultura de consumismo, sociedad, que se ciega ante el impacto ambiental que sus acciones causan. Pero está claro, que en términos monetarios, la generación de ganancias asciende de manera impetuosa, lo que significa excelentes noticias para los grandes inversionistas y empresarios, quienes a su vez también ignoran que todas sus ganancias se obtienen a partir de recursos naturales, y que de ser minimizados o destruidos, la generación de recursos monetarios puede decaer de forma brusca. Entonces, debe hacerse hincapié en que los sistemas de desarrollo actuales, no benefician en absoluto a la mayoría de la población. Sólo unos cuantos son enriquecidos a costa de los recursos naturales y del trabajo de los más

vulnerables. Además de ser inequitativos, son totalmente insustentables; con ello, sin titubeo alguno, puede señalarse que la economía de mercado contiene en sí misma la estructura de la *insustentabilidad* del desarrollo, situación que se acentúa bajo el modelo neoliberal.

Considerando el criterio de Ornelas (2000), a continuación se enlistan los rasgos de esa estructura que impiden la viabilidad del desarrollo sustentable:

1. La falta de equidad social, caracterizada por la concentración del ingreso y propiciada por el libre funcionamiento de las fuerzas del mercado; la creciente pobreza y marginación social y regional. De hecho, la política de desarrollo empeñada en reducir las desigualdades entre las regiones ha dejado de existir y, ahora se deja a las regiones y a las ciudades competir entre sí para atraer las inversiones, al parecer único motivo de existencia tanto de los centros de población urbanos, como de las regiones donde éstos se localizan.

2. Lo anterior se acompaña y fortalece por los altos niveles de centralización de la inversión pública y del poder político en los grupos con intereses monopólicos, lo cual profundiza las desigualdades y los desequilibrios regionales característicos del capitalismo.
3. El rechazo al uso de *tecnologías adecuadas* en los procesos industriales y agropecuarios, que se traduce en elevados índices de contaminación en las concentraciones urbanas y en la rápida destrucción de los recursos naturales en las zonas rurales.
4. La ausencia de canales eficaces que permitan la participación de la sociedad civil en la decisión e instrumentación de la política económica.

Frente a estas circunstancias, ha empezado a crecer la convicción de que si en el pasado, el crecimiento podía tener lugar en sistemas signados por la concentración del ingreso, el despilfarro, la pobreza de segmentos importantes de la población y la explotación de los recursos

naturales, en este momento dicha forma de crecimiento resulta absolutamente inviable, sobre todo si se considera la necesidad de mantener el equilibrio social, político, económico y ambiental (Ornelas, 2000).

1.3.2 Desarrollo sustentable

Como se ha visto, el neoliberalismo promueve únicamente un crecimiento económico, incluso algunos autores lo han llamado desarrollo neoliberal. Pero hay que tener en cuenta que si hablamos de desarrollo, éste debe incluir aspectos tales como alimento, vivienda, salud, educación, medio ambiente, democracia, seguridad social y civil, entre otros, lo cual conlleva a una buena calidad de vida. Ahora bien, se plantea que el desarrollo sustentable tiene como objeto principal, que dicha calidad de vida sea tanto para las generaciones presentes como para las futuras.

Menchaca *et al.* (2014), objetan que el sentido general que persigue el desarrollo sustentable, está íntimamente relacionado con los siguientes aspectos: la satisfacción de las necesidades básicas para todos los

seres humanos en el presente y el futuro; la preservación de la biodiversidad y de los ecosistemas; la disminución del consumo de energía y desarrollo de tecnologías de fuentes renovables, el crecimiento económico ecológicamente saludable, entre otros.

Entonces, se puede decir, que el desarrollo sustentable ha surgido como alternativa a los sistemas de desarrollo actuales. Como definición básica y sencilla se plantea que éste es un *proceso que busca satisfacer las necesidades humanas, tanto de las generaciones actuales como futuras, sin que ello implique la destrucción de la base misma del desarrollo, es decir, los recursos naturales y los procesos ecológicos* (Goñi y Goin, 2006). Por su parte, Foladori (1999), plantea que dicho concepto, remite más allá de su vaguedad y diversas definiciones, a una preocupación sobre el estado del medio ambiente. Además afirma, que en los últimos 20 años se han desarrollado una serie de metodologías para medir la sustentabilidad, lo que ha convertido al concepto en algo más operativo.

En lo que se refiere al concepto de sustentabilidad, probablemente la aplicación de éste, data de mucho tiempo atrás del que los diversos autores mencionan. De hecho, fue a raíz de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en 1992, que el discurso del desarrollo sustentable se fue legitimando, oficializando y difundiendo ampliamente. Sin embargo, la conciencia ambiental emerge en los años setenta con la Primavera Silenciosa de Rachel Carson, y se expande en la misma década, luego de la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, celebrada en Estocolmo en 1972. En ese momento cuando se señalan los límites de la racionalidad económica y los desafíos que genera la degradación ambiental al proyecto civilizatorio de la modernidad, la escasez, fundante de la teoría y práctica económica, se convirtió en una escasez global. Ésta ya no es resoluble mediante el progreso técnico, la sustitución de recursos escasos por otros más abundantes, o el aprovechamiento de espacios no saturados para la disposición de los desechos y el calor generados por el crecimiento desenfrenado de la producción, que van saturando al ambiente, rompiendo los

equilibrios ecológicos de los que depende la sustentabilidad de la vida y de la economía (Leff, 2004).

De acuerdo a Guimarães (2000), considerando que la conferencia en Estocolmo celebrada en 1972 buscaba encontrar soluciones técnicas para los problemas de contaminación, la de Río de Janeiro en 1992 tuvo por objeto examinar estrategias de desarrollo a través de "acuerdos específicos y compromisos de los gobiernos y de las organizaciones intergubernamentales, con identificación de plazos y recursos financieros para implementar dichas estrategias". Añade también, que la mayoría de los problemas de contaminación son provocados por los países desarrollados, teniendo éstos "la responsabilidad principal en combatirla"; y que el desarrollo sustentable "requiere de cambios en los patrones de producción y de consumo, particularmente en los países industrializados".

Aunque la definición de desarrollo sustentable, que se ha venido utilizando hasta el momento, pareciera ser clara, el concepto resulta ser un poco ambiguo. Debe esclarecerse ¿Qué quiere decir "satisfacer las necesidades

humanas"? ¿Cuáles son los patrones a seguir para la definición de estrategias de sustentabilidad?, ¿A cuántas generaciones futuras se refiere? Esta última pregunta puede ser un poco alarmante, ya que podría hablarse de las próximas generaciones en los diez años siguientes o hasta más de 100 años. Entonces habría que delimitar bien cuáles son los objetivos que se pretenden alcanzar con este tipo de desarrollo, y sobre todo, determinar cuál es la real devastación ecológica en el mundo, y el crecimiento de la población.

Lo que si se debe tener siempre en cuenta, y como lo más relevante, es que cuando se hable de desarrollo sustentable, estaremos priorizando el interés por proteger los recursos naturales. Debe entonces identificarse, cuáles son los elementos insertos en este tipo de desarrollo. Foladori (1999), menciona que existen dos elementos centrales del desarrollo sustentable: a) la garantía para las futuras generaciones de un mundo físico-material y de seres vivos, con la misma calidad de vida o mejor a la que existe actualmente; y, b) un desarrollo con equidad para las presentes generaciones. Afirma, que la distinción entre

ambos elementos es de fundamental importancia. En el primer caso, la garantía de un mundo natural para las futuras generaciones, se refiere, explícitamente, a relaciones técnicas, ya que se considera la sociedad futura como una unidad —y no podría ser de otra forma porque se hace mención a una sociedad futura y por tanto desconocida— que se relaciona con su medio ambiente. En el segundo caso, se trata directamente de relaciones sociales, relaciones entre seres humanos, lo cual obliga a pensar la sociedad humana a partir de sus diferencias sociales internas. No puede pensarse la equidad si se analiza la sociedad presente como una unidad. Tampoco puede medirse la equidad si se utilizan promedios que ocultan, precisamente, las diferencias sociales. Dicho de esta manera, puede considerarse que de ambos elementos el más relevante es el segundo, debido a que si el Estado logra un desarrollo sustentable para las generaciones actuales, es muy probable que éste, sea viable y continúe estable para las posibles generaciones futuras.

Además de tomar en cuenta la cobertura de necesidades básicas en la presente generación y la

cobertura de las necesidades de generaciones futuras, Guimarães (2000), menciona un elemento más del desarrollo sustentable, el cual se refiere a la capacidad de los sistemas naturales para lograrlo. Lo cual, muy pocos especialistas lo consideran y es de vital importancia. La mayoría, se enfoca únicamente en asegurar a la sociedad presente y tratar de prever las mismas condiciones a la venidera. Pero nadie se asegura de cuál es la posibilidad de que ello pueda suceder.

Como se ha visto, el desarrollo sustentable se ha convertido en un poderoso y controvertido tema, creando metas que parecen imposibles para los políticos y los funcionarios de los organismos del desarrollo. Ahora todos formulan sus propuestas para el cambio en términos de su contribución a la “sustentabilidad”. Barkin (2003), argumenta que existe un reconocimiento amplio de que no se pueden generalizar los niveles actuales de consumo de recursos per cápita en los países ricos a la gente que vive en el resto del mundo. Muchos añaden que los niveles actuales de consumo no pueden ser mantenidos, aun para aquellos

grupos que ahora disfrutan de elevados niveles de consumo material.

Hasta el momento la sociedad humana ha impactado significativamente los ecosistemas, manipulando tanto recursos bióticos como abióticos. Sin embargo, ha ignorado la resiliencia que los ecosistemas presentan. Así como hasta el momento nadie ha hecho que un río agotado retome su caudal original, tal vez en un futuro, el hombre se vea en dificultades por querer recuperar algún recurso natural que él mismo haya extinguido.

Hay por lo menos dos vertientes que alimentan el enfoque del desarrollo sustentable. La primera tiene relación con las corrientes que desde la economía sometieron a revisión el concepto de desarrollo económico y las políticas correspondientes, en particular a partir de principios de los años setenta. La segunda tiene que ver con la emergencia de la crítica ambientalista al modo de vida contemporáneo, que también se expresó en corrientes diversas pero con ejes comunes y ha transitado por

diversas etapas en todo este tiempo, sobre todo a partir de la Conferencia de Estocolmo (Guimarães, 2000).

Se considera recuperar estas dos vertientes, porque el enfoque de desarrollo sustentable no pretende ser ni ambientalista ni economicista, sino integrar estas y otras dimensiones. Lo anterior, por cierto, no ha sido suficientemente percibido desde la perspectiva de algunas disciplinas. Por ejemplo desde las ciencias sociales se observa el desarrollo sustentable más como un enfoque sobre el ambiente que sobre la sociedad (Guimarães, 2000).

Al respecto Quintero y Fonseca (2008), en concordancia con Guimarães (2000), reiteran que el desarrollo sustentable debe integrar la economía y la ecología en un sólo sistema, no como una simple sumatoria, sino como una auténtica síntesis creadora de un nuevo nivel de análisis entre la producción y la naturaleza, a lo que se agrega, el bienestar social a escala humana. De esta forma, la naturaleza aparecerá determinada por la

economía y a la inversa, pero sólo cuando empalma la producción social con la reproducción natural.

Por otra parte, Ruiz (2013), hace alusión a dos términos: desarrollo rural y desarrollo urbano, los cuales deben ser considerados para lograr el desarrollo sustentable, ambos con sus políticas o leyes; pero en el caso de México, solo existe una Ley de Desarrollo Rural Sustentable y no existe una Ley de Desarrollo Urbano Sustentable. Esto indica una desigualdad entre políticas para el logro del desarrollo sustentable en la sociedad. Además, la dinámica de crecimiento económico de la sociedad en general está ampliando un sector que poco es considerado en los programas de apoyo o atención, siendo este nuevo sector el de las zonas conurbanas, los espacios entre lo urbano-rural-urbano, que satisfacen nuevas zonas habitacionales o de recreación planeadas o invadidas, y que en un corto plazo son áreas con exigencias de servicios propios de las zonas urbanas. Sin lugar a dudas, además de requerir otros servicios en el proceso de desarrollo sustentable, el agua es el recurso del cual se depende como sociedad, debido a su vital importancia para la

producción de bienes y servicios ambientales. De ahí que se considere el mensaje de la Comisión Nacional del Agua (CNA): “Con agua todo, sin agua nada”.

Como se puede ver, son diversos los factores que hay que tomar en cuenta para verdaderamente impulsar un desarrollo sustentable. No se trata solamente de proponer o idear formas de desarrollo, dejándolos correr a su suerte. Si se toman en cuenta cada una de las aportaciones que los especialistas reiteran, los tomadores de decisiones tienen en su dominio la oportunidad de impulsar un cambio en los modelos actuales de desarrollo. Además, en la medida que la sociedad establezca una cultura de medio ambiente contribuirá a que se vayan sentando las bases para el mejoramiento de su calidad de vida, las de los demás y las condiciones de las que deben disponer las futuras generaciones para su desarrollo.

Entonces, si realmente se quiere hacer más operativo el concepto de desarrollo sustentable, por ejemplo en el campo mexicano, tomando la propuesta de Cruz (2008), se requiere el equilibrio entre los objetivos de

desarrollo, y los criterios para la elección de modelos de innovación tecnológica.

Por lo tanto, el compromiso de establecer políticas sustentables requiere también la participación de la tecnología, sobre todo aquellas tecnologías que privilegien la eficiencia en lugar del crecimiento, que aumenten la productividad de los recursos naturales, en lugar de las tecnologías que incrementan la cantidad extraída de recursos o insumos utilizados (Cruz, 2008).

A manera de conclusión, se puede decir, que toda acción que incentive la revolución de un desarrollo neoliberal, hacia un desarrollo sustentable, tendrá repercusiones en la economía familiar, mismas que pueden ser reflejadas en un control del consumismo o un ahorro económico. Ahora bien, para el mundo actual con la sociedad que éste resguarda, donde los que poseen un nivel económico más alto, y tienen el poder y control de este mundo industrializado, no convendría la inclusión de ningún tipo de cambio en la economía mundial. Por lo tanto, el resto de los ciudadanos, quienes representan la mayor

parte de la sociedad, deben analizar y considerar las actitudes que desempeñan día a día en su entorno social, para que éstas tengan repercusión en la interacción hombre-ambiente, de una manera positiva en cuanto a la detención del deterioro de los ecosistemas y su protección. Pero si se continúa solapando las costumbres de la actual sociedad consumista y desconsiderada con su único hogar que es la Tierra, muy pronto la carestía absoluta será la regidora de un planeta que hoy día consideramos inagotable.

CAPÍTULO 2.

LA PROBLEMÁTICA ACTUAL DEL AGUA

2.1 Más allá de la escasez: poder, pobreza y la crisis mundial del agua

El agua es la base de la vida, se bebe para apagar la sed; los animales, los vegetales, la necesitan. Desde tiempos antiguos, la *fuenta* evoca algo vivo y fue descubierto el nacimiento de un concepto animista. Es el “agua viva” de los judíos, el “agua corriente” de los musulmanes, la “hermana agua” de San Francisco (Furon, 1967).

El agua, fuente de vida y derecho humano fundamental, es el elemento central de una crisis diaria que enfrentan muchos millones de los habitantes más vulnerables del planeta, una crisis que amenaza la vida y destruye los medios de sustento en una proporción devastadora. A diferencia de las guerras y los desastres naturales, la crisis mundial del agua no aparece en los titulares de los medios de comunicación. Tampoco convoca

a una acción internacional coordinada. Al igual que el hambre, la privación de acceso al agua es una crisis silenciosa que experimenta la población pobre y que toleran aquellos con los recursos, la tecnología y el poder político para resolverla. Sin embargo, es una crisis que está frenando el progreso humano, relegando a grandes segmentos de la humanidad a vivir en la pobreza, la vulnerabilidad y la inseguridad. Esta crisis cobra más vidas a causa de las enfermedades que una guerra a través de las armas. También refuerza las graves desigualdades de oportunidades que dividen a naciones pobres y ricas en un mundo cada vez más adverso y aislado y que dividen a los habitantes de un mismo país según la riqueza, el género y otras características de desventaja. La disponibilidad del agua es una preocupación para algunos países. Pero la escasez de la crisis mundial del agua nace de la desigualdad, la pobreza y el poder, no de la disponibilidad física (PNUD, 2006).

Así, la escasez de agua, hoy en día afecta a todos los continentes. Cerca de 1,200 millones de personas, casi una quinta parte de la población mundial, vive en áreas de

escasez física de agua, mientras que 500 millones se aproximan a esta situación. Otros 1,600 millones, alrededor de un cuarto de la población mundial, se enfrentan a situaciones de escasez económica de agua, donde los países carecen de la infraestructura necesaria para transportar el agua desde ríos y acuíferos (ONU, 2006).

Si bien, el agua desde la antigüedad, ha sido reconocida como fuente de vida y se ha utilizado en cada una de las actividades que realiza el hombre, pareciera ser que ésta posee una mínima significancia, pues en pleno siglo XXI, bajo el esquema de los problemas de escasez y contaminación del agua, no existen medidas o políticas públicas que exijan a la ciudadanía, el uso adecuado del vital recurso.

Además, es sabido que la “La Tierra” es el planeta del agua, pero el 97% de ésta, se encuentra en los océanos. La mayoría del agua restante está atrapada en los casquetes de hielo de la Antártida o bajo tierra, lo cual deja menos del 1% disponible para uso humano en lagos y ríos de agua dulce de fácil acceso (PNUD, 2006). Por lo tanto,

es ínfima la cantidad de agua dulce con la que realmente se cuenta para abastecer las necesidades básicas de la población mundial, y más aún cuando ésta aumenta de forma acelerada.

A pesar de ello, el prodigar agua sigue siendo un mal hábito que las personas adoptan, sobre todo en aquellos países donde la escasez, hasta el momento se mantiene como un problema irrelevante. En la Figura 2.1, puede observarse la disponibilidad global de agua en relación a la población. Se subraya en particular, la presión ejercida sobre el recurso en el continente asiático, que alberga más de la mitad de la población mundial, con sólo el 36% de los recursos hídricos del mundo (UNESCO, 2003).

Haciendo un análisis retrospectivo, se puede decir que fue alrededor de los cuerpos de agua dulce donde se produjeron los primeros asentamientos humanos. Durante miles de años los lagos, los ríos y los mantos acuíferos se reabastecieron naturalmente. Pero el crecimiento de las poblaciones, así como el aumento de la urbanización, ha generado diversos peligros para las reservas de agua dulce.

En la actualidad, el ritmo de la producción industrial, con su desalojo de desechos contaminantes sobre cuerpos hídricos, el mal uso de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura, la sobreexplotación generalizada del agua, entre otros, han roto ese equilibrio natural.



Figura 2. 1 Relación entre la disponibilidad de agua y la población mundial. *Fuente: UNESCO, 2003.*

A esto se ha sumado el cambio climático global, que según muchos investigadores, se debe al menos en parte, a las actividades humanas. Se prevé, que en poco tiempo, el

calentamiento global provocado por la emisión de gases de efecto invernadero reducirá irreparablemente los glaciares y las nieves que sirven como depósito natural de agua en varias regiones del mundo (UNAM, 2013).

A causa de todos estos problemas que se han mencionado, puede decirse que ha habido una significativa, pero no la suficiente consideración, por el vital recurso, ya que en algunas partes del mundo, la agricultura y la industria están adoptando cada vez mayores restricciones hidrológicas. Pero aunque la carestía es un problema extendido, no todos lo sufren. Es común escuchar a personas decir que en el mundo hay más que suficiente agua para abastecer a toda la población mundial; tal vez quien argumente que haya un “exceso de agua” en el planeta, podría tener un argumento válido, ya que como se mencionó anteriormente, el planeta Tierra se compone en su mayoría por agua, pero casi toda se encuentra en los océanos, la cual es agua salina no apta para consumo humano.

Por lo tanto, por la escasa cantidad de agua que se posee para la vida cotidiana, se suscitan sucesos que originan discrepancia en cuanto a la disposición del recurso. Por ello, es de vital importancia identificar el origen de los conflictos relacionados con el agua; y estos radican en que algunos (principalmente la población más pobre) quedan excluidos sistemáticamente del acceso al agua por sus limitados derechos legales o por políticas públicas que limitan su acceso para su uso cotidiano y como medio de sustento básico.

De acuerdo al Informe sobre Desarrollo Humano (2006), la escasez del recurso se debe a la deficiente gestión de las instituciones y los procesos políticos que ponen a la población pobre en una situación de desventaja. En lo referente al agua limpia, la situación en muchos países es que la población pobre obtiene menos y sufre más los costos del desarrollo humano asociados a la escasez.

Si bien, en los países desarrollados los servicios de saneamiento higiénico y privado nunca faltan, en algunos

países a veces surgen preocupaciones por la escasez del agua. Pero estas preocupaciones deben verse en perspectiva: los niños de los países desarrollados no mueren por no tener un vaso de agua limpia; las niñas pueden ir a la escuela porque no tienen que hacer largos viajes en busca de agua a ríos y arroyos; y las enfermedades contagiosas transmitidas por el agua se ven en los libros de historia, no en los hospitales y en las morgues (PNUD, 2006).

Unos 1,100 millones de habitantes de países en desarrollo no disponen de acceso a la cantidad mínima de agua limpia. La inmensa mayoría de los pueblos del mundo que carecen de abastecimiento de agua y de servicios de saneamiento viven en Asia. Sin embargo, es importante señalar que en África son muchas más las personas que carecen de estos servicios que en Asia (ver figura 2.2). La privación del saneamiento está aún más extendida. Unos 2,600 millones de personas (la mitad de la población de los países en desarrollo) carecen de acceso a un saneamiento básico. Y, dado que los datos se maquillan de manera

sistemática, estas cifras no reflejan toda la magnitud del problema (ONU, 2005).

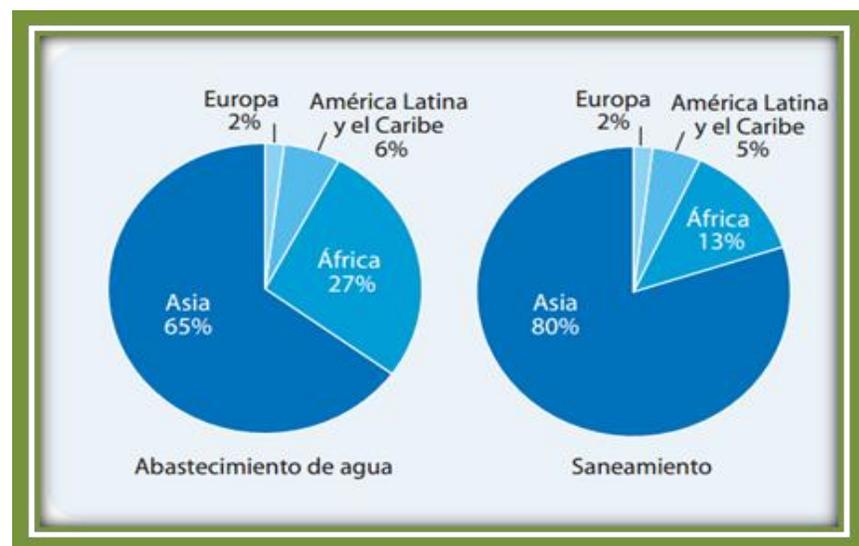


Figura 2. 2 Falta de servicios de abastecimiento de agua y saneamiento en el mundo. **Fuente:** ONU, 2005.

En octubre del 2003, la Junta de Gobierno del Consejo Mundial del Agua (CMA) otorgó a México la organización del IV Foro Mundial del Agua, mismo que se celebró en la Ciudad de México en el mes de marzo del 2006, en el cual, Heidi Storsberg, titular de comunicaciones del foro, comentó que existen algunas regiones de África que prácticamente no tienen agua, por ejemplo, la región

subsahariana. Sin embargo, añadió que el problema se hace mucho más importante en algunas partes de Asia, donde existe una cantidad mucho mayor de personas, y donde la ausencia del agua también es muy evidente. Además, Asia es una de las regiones más afectadas por fenómenos hidrometeorológicos. Ocurren en esa zona una cantidad muy importante de tifones, pero también las sequías son muy alarmantes (IV Foro Mundial del Agua, 2006).

En India por ejemplo, en las zonas con escasez de agua, se presentan problemas agrícolas ya que las bombas de irrigación extraen agua de los acuíferos todo el día para los agricultores ricos, mientras que los vecinos de hogares humildes dependen de la imprevisibilidad de la lluvia. En este caso, la causa subyacente de la escasez en la gran mayoría de casos también es institucional y política, no una escasez física de los suministros. En muchos países, la escasez es el resultado de políticas públicas que han fomentado un uso excesivo de agua (PNUD, 2006).

Hasta el momento, se han venido abordando los conflictos relacionados al agua bajo el *imprinting* de una crisis, donde sin duda alguna, toda la sociedad se vuelve vulnerable a la adquisición del recurso, pero debe cuestionarse que tan responsable es la misma sociedad de que éste se agote; de igual manera, debe hacerse una autoevaluación ligada a una reflexión que nos induzca al análisis de la cantidad real de agua que se necesita para la subsistencia humana.

Aunque las necesidades básicas pueden variar, el umbral mínimo es de aproximadamente 20 litros al día. La mayoría de los 1,100 millones de personas incluidas en la categoría de personas sin acceso a agua limpia, utilizan aproximadamente 5 litros diarios, una décima parte de la cantidad promedio diaria utilizada en los países desarrollados, por las cisternas de los inodoros. En promedio, los europeos consumen más de 200 litros y los estadounidenses más de 400 litros diarios. Cuando un europeo utiliza la cisterna de un inodoro o un estadounidense se ducha, consumen más agua que la que tienen cientos de millones de personas que viven en los

barrios urbanos pobres o las áreas urbanas de los países en desarrollo. En los países desarrollados, se pierde más agua a causa de los grifos que gotean que la disponible al día para más de 1,000 millones de personas (PNUD, 2006).

Al no tener acceso a servicios de saneamiento, la gente se ve forzada a defecar en el campo, en las cunetas y en baldes. No hace falta vivir en pobreza extrema, para darse cuenta de que esas condiciones deplorables de verdad existen. Se están generando focos de infección y las poblaciones están aún más propensas a las diversas enfermedades, situación que le compete solucionar mediante una adecuada gestión a los tomadores de decisiones, y que hasta el momento no han resuelto.

Muchas personas no valoran el hecho de disponer de agua, sólo basta con dar vuelta a una manija, y en cuestión de segundos millones de personas disponen de tan vital líquido. De igual manera, en los supermercados es posible elegir entre varias marcas de agua embotellada. No obstante, como se ha venido reiterando, para más de mil millones de personas de nuestro planeta, el agua limpia está fuera de su alcance. Las consecuencias son

devastadoras. Casi 2 millones de niños mueren cada año debido a enfermedades relacionadas con el agua sucia y un saneamiento insuficiente, mientras tanto, una mala gestión del agua, un exceso de consumo y la contaminación mundial reducen la cantidad y calidad del agua (PNUD, 2006).

Por otra parte, una problemática más que debe solucionarse a la brevedad, es la gestión inapropiada de las cuencas hidrográficas internacionales, la cual amenaza en formas muy directas la seguridad de los seres humanos. Un ejemplo, son los problemas que existen en la frontera norte de México con los Estados Unidos por el río Bravo y el río Colorado. El decrecimiento de los lagos y la desecación de los ríos afectan a los medios de sustento a través de la agricultura y las pesquerías; el deterioro de la calidad del agua tiene negativas consecuencias para la salud; y las perturbaciones imprevisibles de los flujos de agua pueden exacerbar los efectos de las sequías y las inundaciones. Algunos de los desastres ambientales más notorios en el mundo dan testimonio de los costos para el desarrollo humano de la falta de cooperación en la gestión de las

aguas transfronterizas. Tal es el caso del Lago Chad. Actualmente, este lago tiene una décima parte del tamaño que tenía hace 40 años, la falta de lluvias y la sequía han sido factores determinantes, pero también lo ha sido la acción de los seres humanos (ONU, 2011).

Es por ello, que debe tenerse muy en claro la importancia que el agua dulce tiene, ya que este es un recurso limitado, con una distribución no equitativa a lo largo del territorio mundial, y su calidad está bajo presión constante. Por lo tanto, la preservación de la calidad del agua dulce es importante para el abastecimiento de agua potable, así como para la producción de alimentos, entre otros usos que son imprescindibles para el ser humano.

Cabe preguntarse, ¿qué se puede hacer para utilizar el agua adecuadamente y cómo cooperar para que esta crisis no continúe y llegue a dimensiones irreversibles? al parecer, al sector social es al que más le compete, pero es al que menos le importa la solución de las problemáticas complejas, dejando todo en manos de los políticos, los cuales representan a las sociedades, pero que también

parecen mostrar desigualdad y desinterés hacia dichas problemáticas, situación que representa una paradoja, ya que podría afectar a toda la ciudadanía, probablemente sin exclusión de clases sociales.

Los diferentes autores que abordan este tema tan relevante para la población mundial, han intentado introducir al lector al tema del agua desde diferentes perspectivas. Tratando de convencer sobre la importancia del agua como recurso no renovable y de la necesidad de que se use de manera racional para su conservación. Es así como posiblemente se logre innovar la calidad de vida de las personas, pero para ello, será necesario innovar primero, la calidad moral de éstas.

Sin duda alguna, los problemas relacionados con el agua son de carácter ubicuo. La diferencia radica, en que no todos los países presentan la misma alerta ante una inmediata solución de los problemas hídricos. En el siguiente apartado abordaremos cómo es que México está reaccionando ante la problemática del agua.

2.2 México ante la severa problemática del agua

Con una extensión territorial de 1, 964,375 millones de km² (INEGI, 2010), México, para mediados del 2013 alcanzó una población de 118, 395,054 habitantes, lo cual lo ubica en el décimo tercer lugar del mundo en materia de superficie territorial, y en el décimo primer lugar del mundo en materia de población, con una tasa de crecimiento de 1.13% (INEGI, 2010).

De acuerdo con datos de la Comisión Nacional del Agua, (CONAGUA, 2008), la precipitación media anual del territorio nacional es de 775 mm, equivalentes a 1,513 km³ de agua, de esa cantidad, 1,084 km³ se evapotraspiran. El escurrimiento superficial medio es de 400 km³, de los cuales se aprovechan 47 km³ para diversos usos, entre los que destaca el agropecuario. Los acuíferos reciben una recarga de 78 km³, de los cuales se extraen 28 km³. Es importante señalar, que México recibe 50 km³ de agua de Estados Unidos y Guatemala, y exporta hacia Estados Unidos 0.44 km³, esto de acuerdo con el tratado de aguas

de 1944. Este balance se presenta en la Figura 2.3 de manera más detallada.

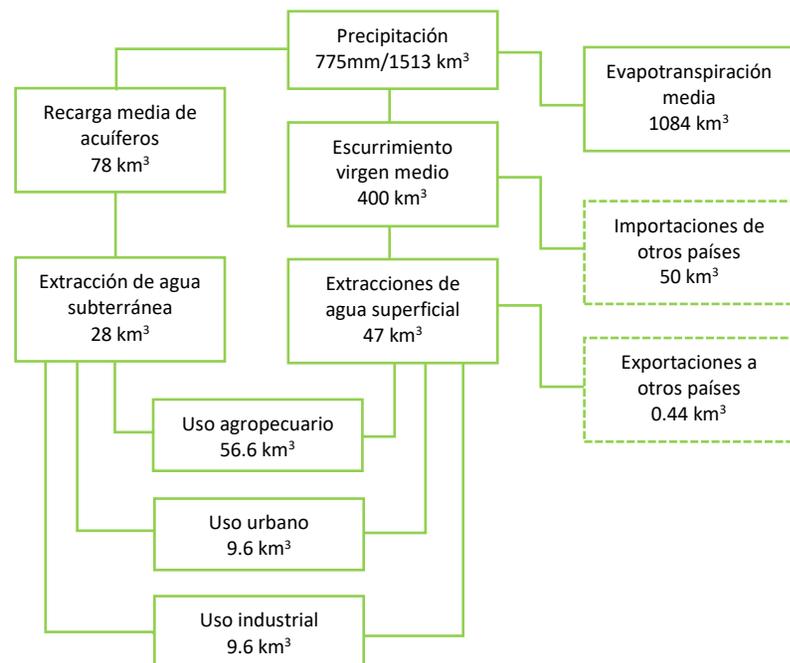


Figura 2.3 Balance hídrico nacional. *Fuente:* Conagua, 2010

Considerando el balance anterior, y haciendo una breve comparación entre México, los países colindantes a éste y Canadá, se puede situar a México en un buen lugar en cuanto a precipitación media anual se refiere, pues registra 775 mm de lluvia al año, mientras que Estados

Unidos 715 mm, Canadá 537 mm y Guatemala 1,996 mm (EL BANCO MUNDIAL, 2012).

Como muchos países, México enfrenta problemas que obligan a hacer una administración mejor para poder satisfacer las demandas de sus habitantes, entre ellos destacan la escasez, la contaminación del recurso, la necesidad de mejorar la administración del agua, la falta de ordenamiento ecológico, el impacto del cambio climático sobre el ciclo hidrológico y la poca inversión en investigación y desarrollo tecnológico en el país (Arreguín *et al.*, 2010).

Al ser el agua un recurso indispensable para el desarrollo humano, debe ser imprescindible la toma de medidas encaminadas a la solución de dichos problemas. Los conflictos en torno al agua siempre han estado presentes; y uno de los ámbitos con más rezago ha sido la actividad agrícola. Los usuarios del agua de dicha actividad siempre han mostrado interés por alterar –mediante obras de distribución– las trayectorias de los ríos a fin de garantizar el acceso al líquido. Las constantes

modificaciones de los cauces crean por tanto fuertes tensiones políticas y sociales por el uso del agua. En algunas regiones el aprovechamiento de los recursos hidráulicos ha estado sancionado por la autoridad de acuerdo con la legislación disponible, es decir, los pueblos y los particulares contaban con contratos que amparasen el uso del agua. Sin embargo, en otros lugares los vecinos la obtenían de manera informal recurriendo a reglas sancionadas por “los usos y costumbres” (Aboites *et al.*, 2010).

De acuerdo con CONAGUA (2013), México enfrentará en el corto y mediano plazos, situaciones inéditas que requieren decisiones firmes para mitigar los efectos de los cambios hidrometeorológicos. Se debe enfrentar con éxito las nuevas necesidades, y dotar al Estado de la rectoría del agua un recurso considerado de seguridad nacional. En el artículo 27° de la constitución, se declaró que los recursos naturales son propiedad de la nación, incluida el agua; sin embargo, durante décadas cualquier interesado ha podido extraer libremente agua del subsuelo, lo que ha generado aprovechamientos ilegales.

En 1948 se reguló la extracción del agua del subsuelo, y gracias a ello se avanzó de tal manera que actualmente el 55% del territorio nacional está ordenado por vedas, que sujetan dicha extracción a criterios como: disponibilidad, equidad y aspectos técnicos. No obstante, el desorden y la sobreexplotación persisten, por lo que es imperativo garantizar la rectoría del Estado sobre el agua con base en estudios y decisiones técnicas que permitan cubrir las necesidades de los mexicanos y avanzar en el desarrollo del país.

Por ello, el 22 de marzo del 2012, el presidente de la república firmó un acuerdo general, mediante el cual todo el territorio nacional estará sujeto a reglas específicas, evitando así la libre explotación o alumbramiento de acuíferos. Contar con esta nueva base normativa se pretende fortalecer la capacidad hídrica al prevenir y corregir la sobreexplotación de acuíferos. Para lograr este propósito, debe integrarse un padrón nacional de usuarios sobre las aguas subterráneas, que a su vez deben ser dotados de seguridad jurídica a través de títulos

debidamente registrados, además de darles un tratamiento equitativo, para lograr un uso eficiente del agua.

En México, más del 90% de la población dispone de conexión a una fuente segura de agua, y dos tercios de los hogares disponen de conexión a un sistema de desagüe cloacal. Pero estos niveles de cobertura caen de forma pronunciada a medida que se aleja de las áreas urbanas desarrolladas y más prósperas de los estados del norte y observamos las poblaciones más pequeñas, las áreas rurales más remotas y pobres que forman los estados del sur. Los estados de Oaxaca, Chiapas y Guerrero evidencian el hecho de que la disponibilidad física del agua y el acceso a ella son dos conceptos muy diferentes: estos estados muestran los niveles de disponibilidad de agua más elevados de México gracias a la lluvia, pero también presentan las tasas más bajas de acceso al agua potable. El acceso es inferior al de los países en desarrollo con ingresos muy inferiores como Sri Lanka y Tailandia (PNUD, 2006).

Pero no solo los estados más pobres del país enfrentan problemas que deben ser solucionados urgentemente. Una de las regiones más preocupantes de México es la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, la cual ha seguido un crecimiento acelerado, que se extiende hacia ciudades ubicadas a menos de setenta kilómetros del límite de la zona metropolitana: Pachuca al norte, Puebla y Tlaxcala al este, Cuernavaca y su zona conurbada al sur, y Toluca al oeste; las cuales, dadas las tasas de crecimiento demográfico e industrial, compiten por el agua de la gran urbe (Peña, 2004). De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2011), de la extracción total de agua en el país, 77% se destina a las actividades agropecuarias, 14% al abastecimiento público urbano, 5% a las termoeléctricas y 4% para uso industrial (ver figura 2.4).

Es importante destacar, que uno de los mayores problemas que enfrentan muchas poblaciones actualmente, ya sean desarrolladas o subdesarrolladas, es la contaminación del agua, problemática que puede ser muy negativa para el desarrollo tanto social como económico de los países.



Figura 2.4 Distribución de los volúmenes concesionados para usos agrupados consuntivos. **Fuente:** *Estadísticas del Agua en México, 2011. CNA.*

Es por ello, que constantemente se reitera e insiste acerca del sustancial cuidado y preservación de las cuencas hidrológicas, ya que éstas proporcionan servicios ambientales, tales como calidad del agua superficial y subterránea; regulación de caudales; productividad acuática y animal; y belleza escénica (Menchaca, Alvarado y Hernández, 2011). Dichos servicios se ven afectados por las diversas actividades antropogénicas, como pueden ser agrícolas, pecuarias, forestales, industriales, acuícolas,

entre otras. Mismas que ocasionan una merma en la disponibilidad y calidad del agua. A continuación, se analiza la situación que enfrenta México para estas dos variables determinantes.

2.2.1 Disponibilidad

La disponibilidad del agua para los distintos usos del ser humano y de la naturaleza en el hábitat de que se trate, dependerá de la precipitación pluvial como elemento primordial, y su distribución en tiempo y espacio. El volumen de lluvia estará dado por una serie de elementos del hábitat, como son el clima, el suelo, la cubierta vegetal, la geomorfología, etc. Se acostumbra restar infiltración, evaporación y transpiración a un volumen total, para saber cuál es el escurrimiento virgen superficial. Éste puede aprovecharse con cierta infraestructura hidráulica destinada a retener el agua para los distintos fines humanos. Los aprovechamientos subterráneos son otra fuente de abastecimiento cuyo límite está dado por la recarga del acuífero, si se sobrepasa este límite se considera como sobreexplotación del manto (Peña, 2004).

Como ya se ha mencionado a lo largo del presente capítulo, México como muchos otros países muestra una reducción socialmente peligrosa en sus recursos de agua dulce per cápita (de 11 000 m³ en 1995, a 4 900 m³ en 2002) y se estima que los recursos de agua natural per cápita para 2020 sean de 3 500 m³. Para ese año, el país en su conjunto tendrá una capacidad baja para garantizar suficiente agua para su población (Garduño, 2004).

En relación con otros países, México posee condiciones medias relativamente favorables en términos de disponibilidad de agua subterránea y superficial, así como una precipitación pluvial y grados de humedad relativa en el ambiente bastante aceptables. Sin embargo, existen grandes diferencias en la distribución espacial del recurso: en el norte, precipitaciones que llegan a ser en promedio anual hasta de 50 mm, y en el sur, que sobrepasan los 4 mil mm como es el caso de algunas regiones de Chiapas. (Peña, 2004).

El país se puede dividir en dos grandes regiones: la zona norte, centro y noroeste, donde se concentra la mayor

parte de la población, que corresponde al 77%, se genera el 79% del PIB, pero únicamente ocurre el 31% del agua renovable (color amarillo); y la zona sur y sureste, donde habita el 23% de la población, se genera el 21% del PIB y ocurre el 69% del agua renovable (ver figura 2.5) (Atlas del agua en México, 2011. CNA). Esta disparidad podría deberse al poco interés que muestran los tomadores de decisiones respecto a la problemática de los recursos hídricos y a la falta de innovación que debe promoverse en las diversas actividades económicas.

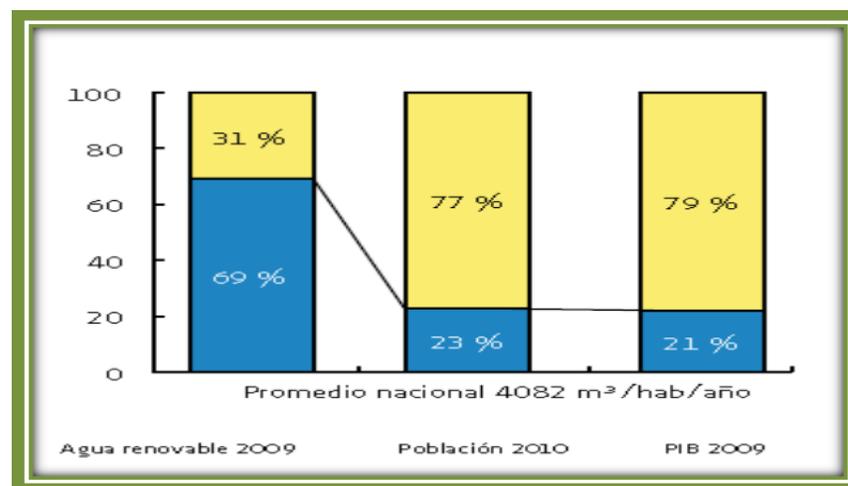


Figura 2.5 Disparidad entre la zona norte, centro y noroeste y la zona sur y sureste de México en cuanto a su disponibilidad y su actividad económica. **Fuente:** Atlas del agua en México, 2011. CNA.

De acuerdo a lo establecido en el Atlas del Agua en México (CNA, 2011), anualmente el país cuenta con 460 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable, a lo que se denomina disponibilidad natural media. En la Figura 2.6, se especifica cómo se encuentra repartida dicha disponibilidad en las trece regiones hidrológico-administrativas del país. En la Figura 2.7, se muestra como ejemplo, un mapa de la disponibilidad natural media per cápita del año 2009, por región hidrológico-administrativa.

Región hidrológico administrativa	Disponibilidad natural media total (mill. m ³ /año)	
I	Península de Baja California	4 667
II	Noroeste	8 499
III	Pacífico Norte	25 630
IV	Balsas	21 680
V	Pacífico Sur	32 824
VI	Río Bravo	12 163
VII	Cuencas Centrales del Norte	7 898
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	34 533
IX	Golfo Norte	25 564
X	Golfo Centro	95 866
XI	Frontera Sur	157 754
XII	Península de Yucatán	29 645
XIII	Aguas del Valle de México	3 513
Total		460 237

Figura 2.6 Disponibilidad natural media, por región hidrológico-administrativa. **Fuente:** Atlas del agua en México, 2011. CNA.

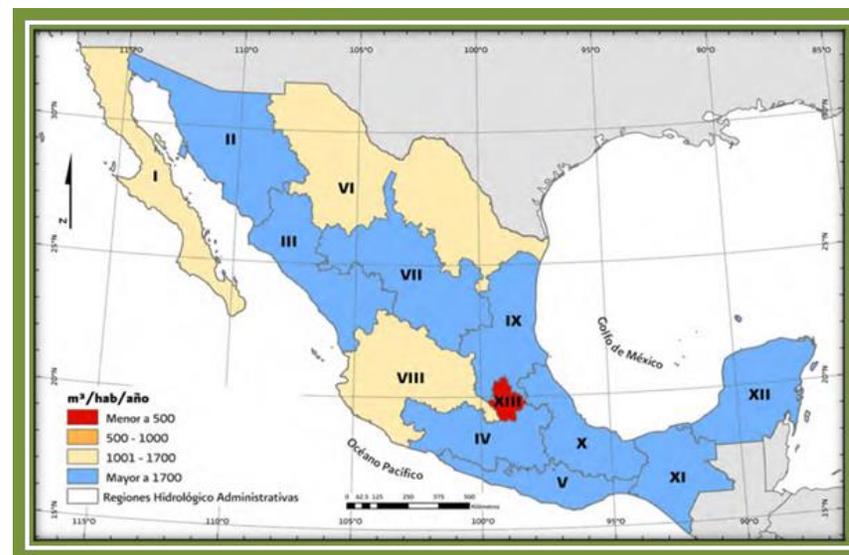


Figura 2.7 Mapa de la disponibilidad natural media *per cápita* 2009.

Fuente: Atlas del agua en México, 2011. CNA.

La CNA (2011), establece también, que el incremento de la población hará que la disponibilidad natural media *per cápita* de agua por habitante a nivel nacional disminuya de 4,230 m³/hab/año en el año 2010 a 3,800 en el 2030. Al año 2030 en algunas de las regiones hidrológico-administrativas, el agua renovable *per cápita* alcanzará niveles cercanos o incluso inferiores a los 1,000 m³/hab/año, lo que se califica como una condición de escasez grave. Menciona que las Regiones Hidrológico-

Administrativas I Península de Baja California, VI Río Bravo y XIII Aguas del Valle de México presentarán en el año 2030 niveles extremadamente bajos de agua renovable *per cápita* (ver figuras 2.8 y 2.9).

Disponibilidad natural media del agua <i>per cápita</i> , por región hidrológico-administrativa, 2009 y 2030				
No.	Región hidrológico administrativa	Disponibilidad natural media (millones de m ³ /año)	Disponibilidad natural media <i>per cápita</i> 2009 (m ³ /hab/año)	Disponibilidad natural media <i>per cápita</i> 2030 (m ³ /hab/año)
I	Península de Baja California	4 667	1 234	789
II	Noroeste	8 499	3 250	2 920
III	Pacífico Norte	25 630	6 473	6 754
IV	Balsas	21 680	2 040	1 948
V	Pacífico Sur	32 824	7 952	8 162
VI	Río Bravo	12 163	1 107	918
VII	Cuencas Centrales del Norte	7 898	1 887	1 729
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	34 533	1 646	1 469
IX	Golfo Norte	25 564	5 145	5 013
X	Golfo Centro	95 866	9 937	9 659
XI	Frontera Sur	157 754	23 835	21 041
XII	Península de Yucatán	29 645	7 294	5 105
XIII	Aguas del Valle de México	3 513	164	148
Total Nacional		460 237	4 263	3 800

Figura 2.8 Disponibilidad natural media del agua *per cápita*, por región hidrológico-administrativa, 2009 y 2030. **Fuente:** Atlas del agua en México, 2011. CNA.

Se deberá tener especial cuidado con el agua subterránea, ya que su sobreexplotación ocasiona el abatimiento de los niveles freáticos, el hundimiento del terreno y provoca que se tengan que perforar pozos cada

vez más profundos para extraer el agua. Cabe aclarar, que la mayor parte de la población rural, especialmente en zonas áridas, depende de manera significativa del agua subterránea (CNA, 2011).

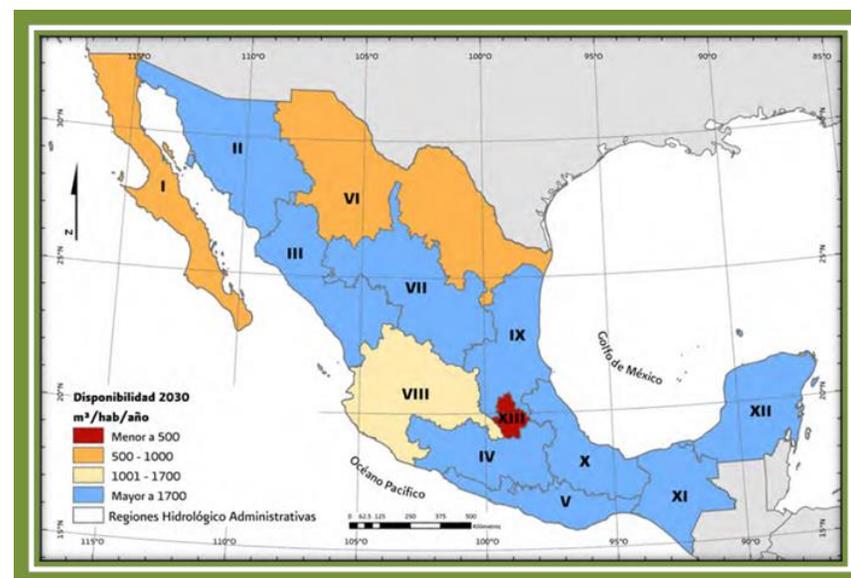


Figura 2.9. Mapa de la proyección de la disponibilidad natural media del agua *per cápita* para el año 2030. **Fuente:** Atlas del agua en México, 2011. CNA.

Ahora bien, considerando los mapas de las Figuras 2.7 y 2.9, es posible hacer un contraste entre ambos. Así pues, las estimaciones que se han hecho al año 2030 para la disponibilidad natural media del agua *per cápita*, no son

muy alentadoras, pues se observa claramente una disminución de la disponibilidad de agua en casi todas las regiones hidrológico-administrativas del país, situación que debe considerarse como prioritaria, debido a la gran necesidad de seguir contando con los recursos hídricos necesarios para cubrir las necesidades básicas de la población. Por ello, es preciso modificar y/o mejorar la gestión de los recursos hídricos del país, así como evitar que se continúen contaminando los cuerpos naturales de agua. En la Figura 2.10, se presenta una estimación de cual puede llegar a ser la disponibilidad media *per cápita* para el país durante el periodo de tiempo de 2009 al 2030.

Indudablemente, México empieza a mostrar condiciones de escasez de agua independientemente de la precipitación que se presente en las diversas regiones, ya sea en el norte, sur o centro del país, en tierras elevadas o cerca de las planicies costeras, o bien en asentamientos rurales o urbanos. La situación se torna cada vez más crítica, pues en el norte del país se han visto temporadas de estiaje que perduran por varios meses, inclusive hasta varios años, por otra parte, en la zona sureste donde hay

una mayor disponibilidad de agua, han surgido problemas relacionados con la asolación de cuerpos de agua superficiales.

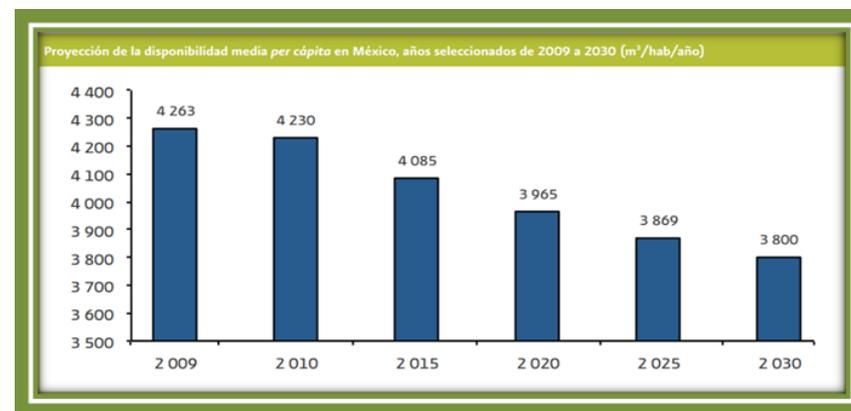


Figura 2.10. Proyección de la disponibilidad media *per cápita* en México, años seleccionados de 2009 a 2030 (m³/hab/año). **Fuente:** *Atlas del agua en México, 2011. CNA.*

Por esta razón, urge que los tomadores de decisiones generen políticas de gestión del agua eficientes, y que la población haga conciencia de la necesidad de usar racionalmente el recurso. Así pues, la disponibilidad de agua en el país, dependerá de la protección de los recursos hídricos y de la prevención de su contaminación, lo cual es deber tanto de los tomadores de decisiones como del resto

de la sociedad civil, ya que todos sin excepción alguna, dependen 100% del vital líquido.

2.2.2 Calidad

La calidad del agua se refiere a las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Estas características afectan la capacidad del agua para sustentar tanto a las comunidades humanas como la vida vegetal y animal. Varios problemas de calidad del agua, incluidas la sedimentación, la eutrofización y la contaminación por bacterias y sustancias tóxicas, han persistido durante décadas (CEC, 2008).

La cantidad de agua que existe en la Tierra no aumenta ni disminuye, pero la población humana sí ha crecido drásticamente, y por lo tanto ha crecido también la necesidad que tenemos de este recurso. Además, si bien la cantidad de agua es constante, no lo es la forma en que se distribuye en el tiempo: es irregular a lo largo del año y también varía en diferentes años dependiendo de las condiciones climáticas globales. De igual forma, los distintos ecosistemas, como las selvas húmedas, los bosques de

pinos, los matorrales, los pastizales o los desiertos, influyen sobre la forma y la cantidad de agua que penetra en los sistemas de acuíferos, su conservación en el suelo o su paso a la atmósfera, lo que ocasiona que la disponibilidad de este recurso sea variable en cada región del país (UNAM, 2013).

Además de la disponibilidad, la calidad del agua es otro factor a considerar, ya que una parte importante del total de agua dulce con el que se cuenta resulta inutilizable debido a la contaminación de los sistemas acuáticos con una gran diversidad de sustancias como: metales, grasas, aceites, derivados de combustibles, disolventes industriales, así como con una gran variedad de microorganismos. Es importante considerar que aun si se cuenta con la cantidad de agua necesaria, ésta puede no cumplir con ciertas condiciones que permitan un uso adecuado. Es diferente un agua para uso y consumo humano de la que se utilizará para riego, o la destinada al cultivo de organismos acuáticos, generación de energía eléctrica o para uso industrial (UNAM, 2013).

A pesar de la importancia que tiene considerar las condiciones del agua para los diferentes usos, muchas ocasiones se pasan por alto valores de contaminantes que inclusive se encuentran por arriba de lo establecido en la normatividad. Por si fuera poco y para agravar aún más la situación, este problema está ausente en países con mayor pobreza, donde su afán no es establecer normas o límites permisibles, sino conseguir el vital líquido.

La calidad del agua es un factor determinante de la salud pública y de los ecosistemas, que restringe la oferta de agua y su distribución potencial para los diferentes usos. El agua está asociada a la transmisión de enfermedades que afectan la salud humana, ya sea por ingestión directa o mediante la contaminación de alimentos, por lo que su calidad está absolutamente relacionada con la calidad de vida de la población. En México los problemas de calidad del agua son severos y tienen un fuerte rezago en su atención comparados con los relativos a la cantidad y a la provisión de servicios a la población. El monitoreo de la calidad del agua es un proceso que debe ser eficaz, regulado y actualizado. De la misma manera, la evaluación

de la calidad del agua es indispensable para poder orientar esfuerzos que favorezcan el reuso del recurso (ONU, 2011).

México ocupa el lugar 106 entre 122 países evaluados a partir de un indicador de calidad de agua por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Esta evaluación coloca a México como un país cuya calidad del agua debe ser una prioridad de la política hídrica, ya que a finales del año 2000 la CNA, informaba que sólo 5% de los cuerpos de agua superficial del país presentaba una calidad excelente; 22% estaba en condiciones aceptables (es decir que un tratamiento convencional la convertía en potable); 49% se consideraba como poco contaminado, pero 24% presentaba tal grado de contaminación que resultaba prácticamente imposible darle algún uso directo, aunque se podría utilizar para usos indirectos. Esto implica que sólo 27% de las aguas superficiales mexicanas, para dicho año eran de calidad aceptable. Esta situación está asociada, en gran medida, con las descargas de aguas residuales sin tratamiento que reciben los cuerpos de agua, así como a la no evaluada contaminación difusa, lo cual ha ocasionado grados

variables de contaminación. En cuanto a aguas subterráneas, se ha detectado que 80% de los acuíferos contienen agua de buena calidad. Se han identificado 40 acuíferos con cierta degradación en su calidad por actividades antropogénicas o por causas de origen natural (CNA, 2001).

Es pertinente mencionar, que la problemática del presente trabajo de investigación tiene como eje principal de análisis la calidad del agua; por ello es muy importante esclarecer que al hacer referencia a la calidad será necesario puntualizar qué tipo de sustancia contiene, ya sea suspendida o disuelta (sales, metales, hidrocarburos, plaguicidas, etc.), o bien de qué organismo (virus, bacterias, parásitos, etc.) se trata, y en qué concentración o cantidad se encuentra, para entender la alteración del agua o del sistema acuático y qué tan seria, reversible o irreversible es (UNAM, 2013).

La calidad del agua puede evaluarse a partir de diferentes parámetros y por medio de distintos métodos. Entre las características físicas se determinan la turbidez, la

cantidad de sólidos, el olor, la temperatura y el color. Las características químicas incluyen la presencia de iones específicos (mayores, menores, metales pesados, nitrógeno y fósforo), pH, alcalinidad, conductividad y dureza, así como los compuestos orgánicos naturales (proteínas, carbohidratos y lípidos), los compuestos sintéticos orgánicos y los gases disueltos en el agua (nitrógeno, oxígeno, bióxido de carbono, amoníaco y metano). En cuanto a las características biológicas del agua, se puede decir que éstas se relacionan principalmente con las poblaciones de microorganismos transmisores de enfermedades, asociadas a desechos humanos y animales tratados inadecuadamente o depositados en los cuerpos superficiales o en sistemas de agua subterránea (ONU, 2005).

En zonas urbanas existen diversas fuentes contaminantes que alteran la calidad del agua de los cuerpos superficiales como son los lagos y ríos, los cuales acarrearán sustancias y organismos hacia las lagunas y zonas costeras. Pero, aun cuando no los vemos, también estamos contaminando los sistemas de agua subterránea

con una gran variedad de compuestos y de organismos que son liberados en la superficie y migran o se desplazan hacia abajo hasta llegar a los acuíferos. Los compuestos o contaminantes pueden incorporarse a los cuerpos de agua en forma puntual, esto es, en un solo lugar, o bien de manera difusa, abarcando toda una región. Por lo general, en un sólo sistema de almacenamiento de agua, como un lago por ejemplo, se dan varios tipos de contaminación (CONAGUA, 2010).

Las principales fuentes de contaminación del agua en México tienen su origen en la basura que se arroja a los sistemas de alcantarillado y a ríos y lagos; a las descargas de los centros urbanos y las industrias, y a las zonas rurales agrícolas en las cuales se utilizan fertilizantes y plaguicidas, siendo estas las principales responsables de la contaminación difusa en el país, la cual produce graves problemas en amplias zonas de riego, en las que se desecha el agua que contiene esos compuestos. Lo mismo sucede en la actividad pecuaria, donde se generan una serie de alteraciones por microorganismos que son

arrastrados a los cuerpos de agua, contaminándolos (CONAGUA, 2010).

Se estima que en la actualidad se generan en México 431.7 m³/s de aguas residuales municipales y no municipales. Al primer grupo corresponden 243 m³/s, y de ellos se colectan 207 m³/s (85%); de esta cantidad se tratan 83.8 m³/s (40%), y 123.2 m³/s no reciben tratamiento. Las aguas residuales no municipales ascienden a 188.7 m³/s; de ellas se tratan 29.9 m³/s (15.85%) y, del restante 84.2%, 63.52 m³/s se emplean en el riego. El impacto de estas descargas se refleja en los cuerpos receptores. La demanda bioquímica del oxígeno (DBO) es un indicador de contaminación de origen municipal y doméstico, y las regiones más contaminadas de acuerdo con este indicador son el Valle de México, Golfo Norte, Lerma-Santiago-Pacífico y algunos sitios del Golfo Centro. El otro parámetro utilizado para medir la calidad del agua es el de sólidos suspendidos totales. Su medición indica problemas en las zonas costeras desde Colima a Guerrero, sur de Veracruz y Tabasco, y regiones de los ríos Santiago, Lerma, Bravo y Soto La Marina (CONAGUA, 2010).

Bajo este escenario, se evidencia que aún existe demasiado rezago en cuanto a políticas públicas eficientes en materia ambiental se refiere, pues como se mencionó, la mayor cantidad de aguas residuales generadas en el país, no son tratadas, y son vertidas en los cuerpos naturales de agua. Esta situación ocasiona que disminuya la calidad del agua, y que ésta sea cada vez menos apta para el consumo humano. Además, la calidad del agua representa un rol muy importante en la salud de la población, ya que la mala calidad del recurso está relacionada con el brote de enfermedades que podrían causar incluso la muerte.

2.2.2.1 Agua potable

Uno de los rubros que no debe pasar desapercibido es la calidad del agua potable, ya que éste es uno de los pilares con mayor solidez e importancia para la población. De acuerdo a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) (ONU, 2011), se han registrado grandes avances en lo que se refiere al acceso a agua potable. A escala mundial, la cobertura aumentó del 77% en 1990 al 87% en 2008, según las cifras del Programa Conjunto de la OMS/UNICEF de

Vigilancia del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento, ese avance es suficiente para satisfacer y hasta probablemente para superar la meta de los ODM de llegar a una cobertura de 89% para el año 2015, independientemente de que las cifras proporcionadas por los gobiernos no son del todo confiables. A pesar del compromiso por cumplir dichos objetivos, sigue existiendo rezago, sobre todo para los países en vías de desarrollo, y en México, para aquellas comunidades rurales que se encuentran a grandes distancias de las zonas urbanas, donde los pobladores, hoy en día siguen consumiendo agua directamente de los cuerpos naturales sin tratamiento alguno.

La calidad del agua para consumo humano, es decir, el agua potable, es una cuestión que preocupa en países en desarrollo y desarrollados de todo el mundo, por su repercusión en la salud de la población. Son factores de riesgo los agentes infecciosos, los productos químicos tóxicos y la contaminación radiológica (OMS, 2014).

Legalmente, el agua potable es aquella que cumple con los 48 parámetros de calidad establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM 127-SSA1-1994. Tanto el suministro como la calidad de dicha agua es responsabilidad de los municipios y son ellos quienes definen si la distribución a los usuarios es administrada por el gobierno o la iniciativa privada. Para el año 2007, se logró una cobertura del recurso cercana a 90% en todo el país (datos no comprobados); sin embargo, no toda el agua entregada contó con la calidad de potable conforme a la normatividad (CONAGUA, 2010).

El tratamiento que se le da al agua para considerarla potable depende de la calidad de la misma. Por su condición de confinamiento, el agua subterránea es generalmente de mejor calidad y por ello, en la mayoría de los casos, sólo pasa por un proceso de desinfección con cloro. En contraste, el agua superficial requiere un tratamiento previo a su desinfección, el cual se lleva a cabo en plantas potabilizadoras a través de la remoción de minerales, sólidos suspendidos y materia orgánica. En el caso de las fuentes de agua subterránea se hallen

contaminadas, dicho tratamiento previo puede ser similar o incluso mucho más complejo que el anteriormente descrito. En 2007 existían 541 plantas potabilizadoras en el país, las cuales operaban únicamente a 72% de su capacidad de diseño. Estas plantas procesaban cerca de un tercio del agua potable y el resto, por su origen era sólo desinfectado (CONAGUA, 2010).

Si bien se reconoce, que probablemente no es necesario medir todos los parámetros señalados por la Norma Oficial Mexicana 127-SSA1-1994 en forma sistemática, sí se estima importante contar con información pública más completa (además del contenido de cloro residual y de coliformes fecales) de manera permanente. Desafortunadamente, en México los ejemplos de información pública sobre la calidad del agua potable son insuficientes. Por ejemplo, en 1994, en la Ciudad de México (lugar donde se realiza un monitoreo más intenso del agua “potable”) se reportó que el 64% del agua cumplía con los parámetros fisicoquímicos y el 71% con los microbiológicos, es decir, no toda era potable.

Esta información es sin duda valiosa, pues podría ayudar tanto al gobierno como a la ciudadanía a tomar decisiones cómo proteger y mejorar conjuntamente la calidad del agua de consumo. Sin embargo, a partir de 1989 (y en realidad debido al terremoto que ocurrió en ese año en la ciudad), la calidad bacteriológica del agua y el contenido de cloro residual incrementaron, pero a partir del año de 1996, dicha calidad disminuyó y fue entonces cuando la información pública desapareció (ver figura 2.11) (ANEAS, 2008).

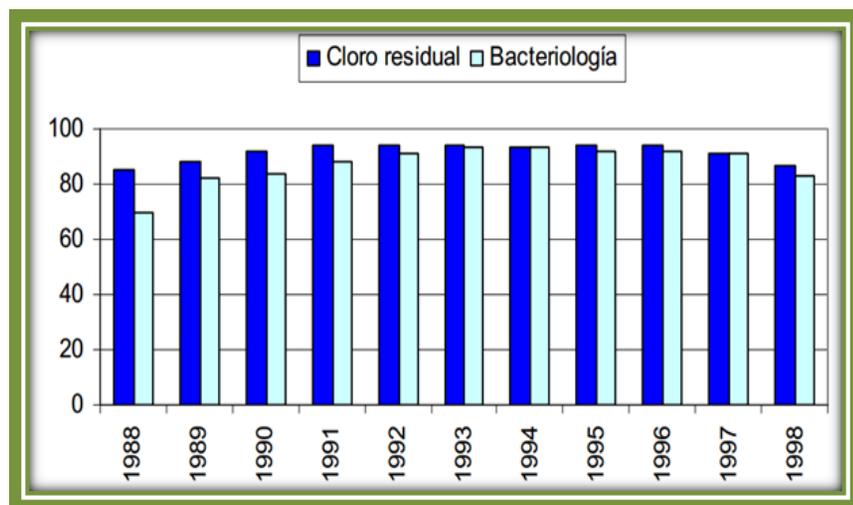


Figura 2.11 Evolución del cumplimiento en el contenido de cloro y de la calidad bacteriológica en el agua de suministro del Distrito Federal.
Fuente: ANEAS, 2008.

Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos (ONU, 2014).

Dentro de las normas que se contemplan en el presente trabajo de investigación destacan los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89. Los cuales establecen los límites máximos permisibles para los cuerpos de agua utilizados como fuente de abastecimiento de agua potable. Con base a éstos, la autoridad competente podrá calificar a los cuerpos de agua como aptos para ser utilizados como fuente de abastecimiento.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127 -SSA1-1994, “Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites

permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”. La cual establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimientos públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

En tercer lugar, las guías para la calidad del agua potable, de la OMS, donde se determinan los valores de referencia para los componentes químicos del agua de consumo, dichos valores representan normalmente la concentración de un componente que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida.

Cabe destacar, que las normas sobre el agua de consumo pueden diferir, en naturaleza y forma, de unos países o regiones a otros. No hay un método único que pueda aplicarse de forma universal. En la elaboración y la aplicación de normas, es fundamental tener en cuenta las leyes vigentes y en proyecto relativas al agua, a la salud y

al gobierno local, así como evaluar la capacidad para desarrollar y aplicar reglamentos de cada país. Los métodos que pueden funcionar en un país o región no necesariamente podrán transferirse a otros países o regiones. Para desarrollar un marco reglamentario, es fundamental que cada país examine sus necesidades y capacidades (OMS, 2006).

2.3 Los retos del agua en Veracruz

Constituido por 212 municipios y con una extensión territorial total de 71,820. 4 km², Veracruz alberga una población aproximada de 7, 643,194 habitantes. Se estima una precipitación normal anual de 1,062 mm (ver figura 2.12) (INEGI, 2010).

En Veracruz –como en el resto del país y del planeta–, numerosas comunidades y regiones enfrentan retos acuciantes en términos del manejo de las cuencas y subcuencas. Se trata de asuntos complejos; entre ellos el acceso al agua en cantidad y calidad adecuadas, el manejo

de los terrenos en ladera, el aprovechamiento cuidadoso y la conservación de las zonas arboladas, la prevención y mitigación de la contaminación, la restauración de arroyos, la prevención de inundaciones, deslaves, y sequías, así como la presión de poblaciones urbanas sobre áreas conservadas, etc. (Silva *et al.*, 2009). Su abordaje requiere partir de las interacciones dinámicas entre diversos factores culturales, ambientales, sociopolíticos y tecno-económicos, es decir, se debe analizar la problemática desde un enfoque multidisciplinario, que permita obtener soluciones viables y eficientes considerando los sectores social, económico y ambiental, mismos que están presentes en las problemáticas complejas, tal es el caso del manejo de cuencas.

Dadas las características inherentes de hidrografía, geografía, orografía y clima asociados a los asentamientos humanos, las actividades agrícolas e industriales, así como las condiciones socioeconómicas de su población, Veracruz posee condicionantes que hacen del sector hídrico un factor decisivo que establece retos y oportunidades para su futuro, a diferencia de otras entidades federativas. Esto se debe

principalmente a la gran cantidad de recursos hídricos con los que cuenta el estado.

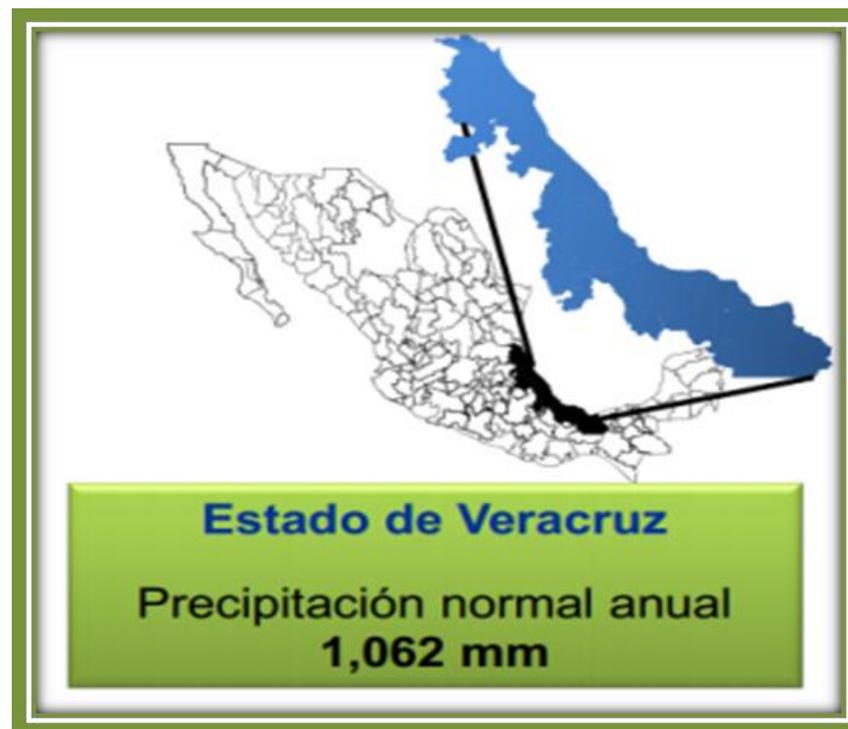


Figura 2.12. Ubicación geográfica de Veracruz y precipitación normal anual. **Fuente:** *Estadísticas del Agua en México, 2011. CNA.*

Veracruz se caracteriza por disponer de suficiente cantidad de recursos hídricos, en comparación con otras entidades del país. La precipitación media anual representa casi el doble de la media nacional, y por sus cauces fluye

un tercio del escurrimiento total del país. En cuanto a los mantos acuíferos, Veracruz también dispone, aunque no en la misma forma ni en toda su extensión, abundantes recursos subterráneos, presentándose en algunos acuíferos costeros ciertas evidencias de intrusión salina.

El sector industrial y agrícola se han desarrollado en el estado con base en gran medida a la disponibilidad hídrica, ambos sectores desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de las actividades económicas del estado. Es pertinente mencionar que estos sectores, que utilizan considerables recursos hidráulicos, se encuentran en un continuo proceso de modernización, para hacer más eficiente la utilización de su principal insumo, el agua, con el consecuente aumento de su eficiencia, y por ende, de su producción. Como ya es sabido, estas actividades producen en suma una carga de residuos que a su descarga en cauces y cuerpos de agua provoca una severa contaminación. Esta contaminación debe considerarse con el hecho de que el estado se encuentra aguas abajo de otras entidades federativas de la República (Ruíz, 2013).

Debe resaltarse, que no solo los sectores agrícola e industrial son los únicos que contaminan los cuerpos de agua. Si bien, de la extracción total de agua en el país, el 14% es utilizado para uso público urbano, no demanda grandes cantidades del recurso, pero la situación preocupante de la actividad doméstica no es la cantidad de agua requerida para su uso, sino la transformación del agua potable en agua inservible –aguas grises– que al igual que las aguas negras, después son descargadas en los cuerpos naturales de agua. Estas junto con otras actividades antropogénicas son las responsables de la contaminación de los cuerpos de agua superficiales, que como se verá más adelante, han sufrido una serie de afectaciones que influyen en el ámbito social, económico y ambiental.

De acuerdo al proyecto del Programa Hidráulico Estatal (2011), la problemática hídrica del estado para efectos de su diagnóstico, se puede agrupar de acuerdo con los temas siguientes:

- Baja cobertura y deficiente servicio de agua potable, alcantarillado y saneamiento en zonas urbanas y rurales.
- Alta contaminación de los principales ríos del Estado.
- Alta incidencia de daños por inundaciones.
- Baja eficiencia en el aprovechamiento del agua y la infraestructura en Distrito y Unidades de Riego y Unidades de Temporal Tecnificado.
- Insuficiente medición y divulgación de la información.
- Aspectos legales e institucionales.

Si bien, cada una de las problemáticas se considera alarmante y debe ser solucionada o intervenida a la brevedad, como se ha venido mencionado en el presente capítulo, la contaminación de los cuerpos de agua es demasiado inquietante y deben tomarse medidas al respecto. Los estudios existentes en materia de calidad del agua de los principales ríos del estado, revelan que en los 14 ríos más importantes se registran niveles alarmantes de contaminación, lo que:

- Compromete la disponibilidad de sus aguas para ciertos usos, usos tales como el público urbano, el recreativo o el acuícola, que por sus características de contacto directo con la población requieren de una calidad superior a la de otros usos.
- Constituye un riesgo para la salud de la población asentada cerca de estas corrientes.
- Representa un peligro a aquellos usuarios que directamente la ocupan para regar.
- Afecta a los consumidores de los productos que son regados con estas aguas.
- Reduce las opciones para diversificar cultivos y de esta forma limita el desarrollo agrícola, ya que la producción se ve restringida a cultivos básicos como maíz, frijol y forrajes de baja rentabilidad.

La alta contaminación de los ríos se debe principalmente a las descargas industriales de aguas residuales sin tratamiento o con tratamiento deficiente. Este tipo de descargas constituye el 68% del volumen descargado a ríos y cauces de forma puntual, además de que aporta el 76% de la carga contaminante medida en

términos de la DBO5. Dentro de las descargas industriales, las correspondientes a los ingenios azucareros y a las instalaciones de Petróleos Mexicanos (PEMEX) representan el 50% del volumen generado por este sector, el 65% de la carga orgánica de DBO5 y el 89% de la DQO (CSVA, 2011).

Por su parte, las descargas de origen municipal junto con las del sector servicios, participan con el 32% del volumen descargado y el 24% de la carga contaminante; también el depósito de basura en barrancas, contribuye al deterioro de la calidad del agua. La infraestructura para el saneamiento tanto municipal como industrial es reducida y la que existe trabaja con eficiencias muy bajas, por lo que se puede afirmar que existe en el estado de Veracruz una cantidad importante de infraestructura para tratamiento de aguas residuales tanto de origen municipal como industrial que no se aprovecha de manera adecuada (CSVA, 2011).

Como se ha mencionado, la disponibilidad del recurso hídrico es cada vez menor debido al crecimiento de la demanda y a la contaminación del agua. Esta reducción

en la disponibilidad, propicia condiciones para que exista competencia por el agua, que puede derivar en conflictos entre los usuarios de la misma, si no existen las instancias que regulen el aprovechamiento de los recursos hídricos. Si bien es cierto que la Comisión Nacional del Agua es la instancia federal encargada de la administración del recurso hídrico, y por ello, la facultada para dirimir las diferencias entre los usuarios, esta institución tiene cobertura regional, atendiendo a otros estados además de Veracruz, lo que aunado a la posible compactación futura de su organización, derivada de las reformas a la Ley de Aguas Nacionales, reduce la capacidad de atención de los conflictos que surgen por el derecho del agua. En este proceso de administración de los recursos hidráulicos de jurisdicción estatal, es tarea del Consejo del Sistema Veracruzano del Agua de proporcionar los elementos para dicha regulación, sin embargo, éste no ha contado con los recursos necesarios para llevar a cabo los estudios que proporcionen elementos para el conocimiento preciso de los problemas del agua en las cuencas, o para conocer las características físicas de los cuerpos y de los usuarios de los mismos (CSVA, 2011).

Considerando los fundamentos de apartados anteriores, es preciso acentuar dos vertientes referentes a la problemática del agua, que son la contaminación y una deficiente gestión del recurso. Pero existe una cuestión más que involucra a la sociedad, o más bien, la excluye de la problemática del agua, y es precisamente el minúsculo interés de los usuarios del agua y de las instituciones de enseñanza e investigación en lo referente al conocimiento preciso de la ocurrencia del agua y de los balances entre ésta y el aprovechamiento del recurso hídrico. Muestra de ello, es la poca investigación que se realiza en el estado de Veracruz en esta materia, y de que no existe una formación de profesionistas para hacer frente a los retos que implican la problemática del agua (CSVA, 2011).

En México y en Veracruz, la misma sociedad se ha olvidado de la importancia de cuidar el agua, pensando que este recurso es un bien libre e infinito que otorga la naturaleza y que, por tanto, puede tomarse indiscriminadamente. En el estado de Veracruz, al igual que en el resto del país y del planeta, existe una enorme preocupación por la presente carestía de este vital líquido.

Es por este hecho que día a día se hace más indispensable contar con una cultura del agua, la cual busca superar conflictos y establecer niveles de equilibrio. Esto implica la participación responsable y consciente de los propios usuarios.

2.3.1 La situación actual en la microcuenca del río Pixquiac

Se puede decir que una cuenca está formada por subcuencas y microcuencas; sin embargo, no existe acuerdo aún sobre las dimensiones de una cuenca y subcuenca. La cuenca puede ser considerada como un ecosistema que tiene especies animales y vegetales, además de que es una reserva de germoplasma. Como ecosistema ofrece la producción de alimentos y materia prima; regulación hídrica, de gases, de clima y de disturbios; oferta y calidad del agua; retención de sedimentos, formación de suelos, reciclado de nutrientes y fertilidad de suelos, tratamiento de residuos, refugio de especies, recreación, cultural, belleza escénica y producción de biodiversidad. Funciona también como abastecimiento de especies animales y vegetales que

sirven para la producción de alimentos y materia prima, servicios farmacéuticos, polinización, control biológico, entre otros (Ruíz, 2013).

Considerar a la cuenca hidrológica y sus subdivisiones como un sistema y unidad de desarrollo ofrece una oportunidad jurídica para lograr, a través de la gobernanza, un mejor manejo, conservación y evaluación de las acciones de desarrollo y mejoramiento, desde el punto de vista social, económico y ambiental, de los recursos naturales que en ella existen. La cuenca hidrológica como un sistema está conformado por elementos estructurales que son: paisaje agrícola, paisaje no agrícola e infraestructura, mismos que de acuerdo a la organización social y seguimiento de leyes genera indicadores de sustentabilidad útiles para consolidar o redireccionar estrategias bajo la responsabilidad de los tomadores de decisiones, investigadores y público en general, y de esta manera contribuir al desarrollo sustentable (Ruíz, 2013).

La microcuenca del río Pixquiac, pertenece a la Cuenca del Río la Antigua, ubicada en la zona centro del estado de Veracruz. Se caracteriza por presentar altas precipitaciones de mayo a octubre, lo que aunado a la abrupta topografía ha propiciado escurrimientos de primer y segundo orden, así como la presencia de numerosos manantiales que afloran en todo el territorio, aportando agua a los cauces incluso en época de estiaje. La captación de agua depende de la presencia de los bosques y de la estabilidad de los suelos de tipo andosol, caracterizados por su capacidad de retener agua siempre y cuando estén cubiertos por vegetación (Paré *et al.*, 2008).

Lo anterior, acentúa la importancia que tiene también el manejo integral de los recursos forestales, ya que éstos junto con los recursos hídricos y demás componentes del ecosistema, proveerán los servicios ambientales que se requieren, para solventar las necesidades básicas de los usuarios y para el equilibrio del ecosistema. A pesar de las circunstancias preocupantes del deterioro ambiental y las insistentes peticiones y observaciones dirigidas a los tomadores de decisiones, quienes parecen considerar la

problemática como un problema irrelevante, no se han tomado medidas que verdaderamente solucionen u optimicen el manejo de los recursos ambientales.

Tan sólo hasta la década de 1950, cuando la región circundante a Xalapa presentaba grandes masas continuas de bosque mesófilo de montaña (BMM) y una densidad poblacional menor, el abasto de la ciudad de Xalapa dependía de sus propias fuentes de agua y del río Pixquiac. En los últimos años, la extracción de agua para la ciudad ha ocasionado que en la época de estiaje se sequen muchos de los arroyos y nacimientos de agua en la cuenca del Pixquiac (Paré *et al.*, 2008).

En lo que se refiere a la calidad del agua, en la parte baja de la cuenca hay descargas directas de aguas negras y grises urbanas sin ningún tratamiento previo, siendo ésta la principal amenaza para la salud de los ríos y arroyos, y para la población que usa esta agua para beber y para sus actividades agropecuarias. Se estima que el río Sordo, el cual tiene su origen en la microcuenca, recibió en el 2002 un aporte de aguas residuales urbanas promedio de 146.93

lps, con valores máximos de 686.73 lps. Esto indica que en época de secas el volumen de aguas servidas puede superar al caudal promedio del río, lo que convierte al cauce del río en un auténtico caño de aguas negras prácticamente sin dilución (Paré *et al.*, 2008).

Lo anterior coincide con los estudios realizados por Menchaca y Alvarado (2011), quienes afirman que efectivamente, la actividad doméstica afecta al ecosistema de la microcuenca en las tres zonas que la comprenden: alta, media y baja; ya que se descargan aguas residuales en las corrientes superficiales, situación que implica haya una menor disponibilidad del agua en cuanto a cantidad y calidad del recurso, además de extracciones de agua que se hacen desde la zona alta, hasta la zona baja. Paralelo a ello, en la zona baja se han detectado descargas de aguas residuales provenientes de la actividad industrial (empresas dedicadas a la producción de lácteos, refresqueras, beneficios del café), por este motivo el recurso hídrico está siendo degradado, ya que sus características fisicoquímicas y biológicas han sido alteradas en su totalidad. Por otra parte, la actividad agrícola requiere de atención inmediata,

en cuanto al tipo de producción que se lleva a cabo en la microcuenca, ya que ésta es la actividad que tiene mayor número de impactos ambientales de tipo irreversible para los servicios ambientales de bosques y cuencas hidrológicas; es decir, que es imposible que el ecosistema pueda recuperar sus características originales sin necesidad de la intervención del hombre.

Definitivamente en este contexto local, existe una problemática compleja, que exige una solución inmediata. Tan sólo la ciudad de Xalapa, la cual depende de los servicios ambientales de la microcuenca, a principios del siglo XX, se abastecía de agua de los diversos arroyos, manantiales y ríos que se mantenían en buenas condiciones en flujo y calidad, hoy día la situación ha cambiado drásticamente, pues a lo largo de la historia del crecimiento de la ciudad, la población ha ido demandado más agua y agotando el suministro de estas fuentes, al mismo tiempo que son contaminadas con desechos domésticos, basura, aguas negras e incluso hasta llegar al azolvamiento de las mismas.

Ante este gran escenario de deterioro ambiental, los ciudadanos se están enfrentando a una merma en la disponibilidad de agua natural. Tan alarmante ha sido la situación, y tan alta la demanda del recurso, que se ha tenido que buscar nuevas fuentes de abastecimiento; tal es el caso del río Huitzilapan, ubicado en el municipio de Quimixtlán, Puebla, el cual representa la mayor fuente de provisión de agua para la ciudad de Xalapa, pues garantiza el abasto de cerca de 1.1 m³ por segundo, además de la facilidad que se presenta para su conducción, ya que se hace tan sólo utilizando la gravedad. Se calcula que la provisión de agua suministrada a la capital del estado por el río Huitzilapan, es aproximadamente un 60% del agua que consume la capital del estado de Veracruz (Benitez, 2011).

Sin embargo, el hecho de depender de los recursos hídricos de otra entidad federativa, ha traído consigo conflictos sociales. Por ejemplo, los hechos acontecidos el 14 de noviembre de 2010, donde afiliados a la Organización Progresista Puebla, cerraron durante cinco horas las compuertas de la presa derivadora “Los Colibríes”, esto en demanda del servicio de agua potable. Más tarde, el 12 de

mayo de 2012, integrantes de la misma organización, cerraron las válvulas del acueducto Huitzilapan-Xalapa, ocasionando que el 60% de las colonias capitalinas se quedaran sin agua potable (UNAM, 2012).

A pesar de que Xalapa es conocida por su tradicional clima húmedo y lluvioso, la precipitación ya no es suficiente para abastecer la actual demanda regional. Si a esto se suma el crecimiento poblacional y el aumento de la demanda de agua, la situación podría llegar a ser alarmante. Por ello, es urgente en primer lugar, tomar las medidas necesarias para la conservación de los últimos remanentes de bosque y las fuentes de agua que aún se mantienen, así como solucionar la problemática con las fuentes actuales de abastecimiento y/o buscar nuevas fuentes de suministro del vital líquido. De esta manera, no sólo se estará garantizando la disponibilidad y calidad del agua para la ciudad de Xalapa, sino para los demás municipios y localidades que también dependen de los recursos hídricos de la microcuenca.

CAPÍTULO 3

SERVICIOS AMBIENTALES, FACTOR ANTRÓPICO, CALIDAD DEL AGUA Y SALUD

3.1 La importancia de los ecosistemas

Si se imaginara la Tierra sin ecosistemas, es decir, sin los motores productivos del planeta: comunidades de especies que interactúan entre sí y con el ambiente físico en que viven. Los ecosistemas están alrededor de cada ser vivo, y cada uno tiene un desafío particular de vida; codifican enseñanzas de supervivencia y eficiencia, a medida que incontables especies compiten por luz solar, agua, nutrientes y espacio. Si se la privara de sus ecosistemas, la Tierra se parecería a las imágenes desoladas y sin vida que proyectaron desde Marte las cámaras de la NASA en 1997 (Aznar, 2002).

El desarrollo y la seguridad de las sociedades están estrechamente vinculados con la productividad de los ecosistemas (Siles, 2008). Sin embargo, se ha visto que en los últimos años, ha disminuido la capacidad productiva de los ecosistemas, debido a la acelerada explotación de los recursos naturales que estos proveen, tal es el caso de los recursos maderables, los cuales se someten a una demanda que va en aumento y que sin duda alguna ha contribuido a la desaparición o fragmentación de ecosistemas de bosque, por mencionar alguno, el Bosque Mesófilo de Montaña. Esta merma, puede poner en riesgo el desarrollo de las naciones y el bienestar de los pueblos.

Revenga y Mock (1999), citado en Calvache *et al.* (2012), destaca al desarrollo como uno de los principales responsables de la degradación de los ecosistemas, especialmente aquellos de aguadulce, categoría que incluye la diversidad de comunidades de especies encontradas en lagos, ríos y humedales. Aunque ocupan una pequeña porción de la superficie del planeta, vistos desde una perspectiva de número de hectáreas los ecosistemas de agua dulce son más ricos en especies que los más

extensos ecosistemas terrestres y marinos. Sin embargo, los ecosistemas de aguadulce han perdido una mayor proporción de especies que los terrestres y marinos, debido al aumento de amenazas de represas, la extracción de agua, la sobrepesca y la extracción de materiales, la contaminación, la deforestación y la presencia de especies invasoras, entre otros. (Millenium Ecosystem Assesment, 2005), citado en Calvache *et al.* (2012).

Ahora bien, si a lo anterior le sumamos las extremas oscilaciones que se han presentado en la temperatura ambiente, y se supone son consecuencia del cambio climático, según Calvache *et al.* (2012), se aproximan retos aún mayores, pues se anticipan alteraciones en los patrones anuales de las precipitaciones. Esto trae como resultado calamidades y pérdidas humanas y económicas, a las que muchos de los países desarrollados y en vía de desarrollo se han enfrentado en los últimos años.

Como es sabido, los ecosistemas son aquellos espacios delimitados por aspectos bióticos y abióticos, es decir, fauna, flora, cuerpos naturales de agua, ya sean

cascadas, oasis, ríos, lagunas, aguas costeras y profundidades marinas, etc., montañas, dunas, en fin, todo aquello que es parte de los inmensos paisajes que conforman el planeta Tierra.

Desde la educación básica, se ha instruido acerca de la importancia que éstos poseen, como es la obtención de recursos naturales para su uso en beneficio de los seres humanos. Además, se enfatizaba cómo es que éstos se clasifican y, es así como se conoce que existen bosques, selvas, praderas, sabanas, tundras, desiertos, entre otros. Sin embargo, esta relevante pero ínfima información limita al hombre a darse cuenta que realmente existen diversos motivos para aunar más en el conocimiento de su importancia para la vida humana; basta con decir, que tan solo sin esos ecosistemas, los seres vivos no podrían sobrevivir.

Por ello, es importante resaltar que los ecosistemas no son únicamente ensamblajes de especies; se trata más bien de sistemas combinados de materia orgánica e inorgánica y fuerzas naturales que interactúan y se

transforman. La energía que mantiene el sistema en funcionamiento proviene del sol: la energía solar es absorbida y convertida en alimento por plantas y otros organismos que realizan la fotosíntesis y que se encuentran en la base misma de la cadena alimentaria. El agua es el elemento crucial que fluye a través del sistema natural. La cantidad de agua disponible, junto con los niveles extremos de temperatura y la luz solar que un determinado sitio recibe, determinan en lo fundamental el tipo de plantas, insectos y animales que habitan en ese lugar y la manera en que se organiza el ecosistema (Aznar, 2002).

Las necesidades del organismo humano de alimento, agua, aire limpio, refugio y de estabilidad climática relativa son básicas, los ecosistemas son esenciales para el bienestar humano y especialmente para la salud, definida por la Organización Mundial de la Salud como el estado de completo bienestar físico, mental y social. Quienes viven en entornos urbanos materialmente cómodos, comúnmente dan por sentados los servicios de los ecosistemas para la salud y asumen que la buena salud deriva de opciones y comportamientos prudentes de consumo, con acceso a

buenos servicios de salud. Sin embargo, se ignora la función del medio ambiente natural: del conjunto de ecosistemas que permiten que la gente goce de buena salud, de organización social, de actividad económica, de un medio ambiente construido y de la vida en sí misma (OMS, 2005).

Lo anterior, demuestra que la mayoría de las veces las personas económicamente estables, olvidan que cada uno de los servicios y artículos que utilizan deben su origen a los recursos naturales provistos por los ecosistemas. Todas las personas del mundo dependen por completo de los ecosistemas de la Tierra y de los servicios que éstos proporcionan, como los alimentos, el agua, la gestión de las enfermedades, la regulación del clima, la satisfacción espiritual y el placer estético. En los últimos 50 años, los seres humanos han transformado los ecosistemas más rápida y extensamente que en ningún otro período de tiempo de la historia humana con el que se pueda comparar, en gran medida para resolver rápidamente las demandas crecientes de alimentos, agua dulce, madera, fibra y combustible. Esta transformación del planeta ha

aportado considerables beneficios netos para el bienestar humano y el desarrollo económico. Pero no todas las regiones ni todos los grupos de personas se han beneficiado de este proceso, de hecho, a muchos les ha perjudicado. Además, sólo ahora se están poniendo de manifiesto los verdaderos costos asociados con esos beneficios (Reid *et al.*, 2005).

Uno de los aspectos de vital importancia de los ecosistemas naturales, es la provisión de los servicios que éstos ofrecen al ser humano, que se conocen como ambientales o ecosistémicos. Corresponden a funciones de los ecosistemas que brindan beneficios sociales y/o económicos para la población local, nacional o internacional (Calvache *et al.*, 2012).

Los ecosistemas boscosos por ejemplo, soportan funciones ecológicas fundamentales a nivel local y global, como el reciclaje de nutrientes, protección de los suelos, conservación de la biodiversidad, regulación climática y control hidrológico. Dichas funciones sustentan importantes servicios ambientales que son la base para diversas

actividades económicas, tal es el caso de la obtención de productos forestales madereros y no-madereros. Bajo un escenario de cambio climático global, el abastecimiento de agua en cuanto a disponibilidad y calidad se convierte en una de las principales funciones ecosistémicas de los bosques (Oyarzún *et al.*, 2005).

Los bosques también tienen un rol muy importante en el ciclo hidrológico, Andreassian (2004), citado en Oyarzún *et al.* (2005) argumenta que éste ha estado en discusión desde hace mucho tiempo. En general, los estudios relacionados con el impacto de los bosques sobre flujos de agua se han realizado principalmente en Estados Unidos y Europa. Al respecto Robinson *et al.* (2003), citado en el mismo autor, menciona que resultados recientes conducidos bajo condiciones reales de manejo forestal, muestran que el potencial de los bosques para reducir los caudales máximos y los caudales base es mucho menor de lo que se había presumido en el pasado, especialmente en grandes cuencas hidrográficas. Pareciera que el impacto de los cambios de cobertura vegetal sobre el rendimiento

hídrico es más importante en cuencas de mediano y pequeño tamaño.

Por lo anterior, es acuciante tomar medidas respecto al manejo de los recursos forestales de las medianas y pequeñas cuencas, que deben ser consideradas como un ecosistema que contribuye al desarrollo urbano, a través de bienes y servicios ambientales que ella misma aporta, como es el abastecimiento de agua y el paisaje. De igual manera, debe prestarse importante atención a los programas de reforestación que puedan ser adoptados, ya sea en un ecosistema similar a la microcuenca o en cualquier otro donde se incentive la plantación de especies diferentes a las endémicas, ya que de acuerdo con Oyarzún *et al.* (2005), la sustitución de bosques nativos por plantaciones exóticas de crecimiento rápido es la causa de la reducción del rendimiento hídrico en pequeñas cuencas.

Lo anterior se debe principalmente a las mayores tasas de evapotranspiración de estas plantaciones, comparadas con árboles nativos, llevando a una reducción del drenaje superficial y subsuperficial que alcanzan los

esteros. Además menciona, que existen especies como el *Eucalyptus regnans*, el cual puede extraer agua del suelo hasta aproximadamente siete metros de profundidad, afectando las reservas profundas del suelo, lo que se refleja en que los períodos con bajos caudales sean más prolongados que en las cuencas con bosque nativo. Esto significa que en cuencas con bosque nativo, las reservas de agua del suelo permanecen sin agotarse un mayor periodo de tiempo que en cuencas con plantaciones que no son nativas.

En consecuencia, la conversión de los bosques nativos a otros usos de suelo como agricultura y plantaciones, afectan el abastecimiento de agua de manera significativa, el cual es uno de los servicios ambientales más importantes por parte de los bosques. A su vez, estas variaciones en la provisión de agua pueden afectar actividades económicas relacionadas con el uso consuntivo y la producción de bienes de mercado, como el agua potable. Los cambios en la producción de bienes de mercado a su vez son transmitidos a la sociedad a través

del sistema de precios, afectando el bienestar de las personas (Oyarzún *et al.*, 2005).

Es importante destacar que los bosques de montaña localizados en regiones con precipitaciones anuales mayores a 3.000 mm, y donde el aporte de agua mediante nubes y neblina es importante, pueden ser considerados como productores de agua, ya que la deforestación podría significar una disminución de los caudales de base (Ingwersen, 1985), citado en Oyarzún *et al.* (2005). Por otra parte, si se quisiera saber que tanto han sido alterados los ecosistemas o en qué condiciones se encuentran éstos, la UNESCO (2003), menciona que para medir el estado de salud de los ecosistemas se utilizan indicadores de la calidad del agua (físico-químicos y biológicos), datos hidrológicos y evaluación biológica, incluyendo el grado de biodiversidad.

Se puede tomar en cuenta, que el principal problema y del cual se deslindan los demás, es la inadecuada gestión de los ecosistemas. De acuerdo a Reid *et al.* (2005), son tres los problemas principales relacionados con la gestión

de los ecosistemas del mundo, que están causando ya un perjuicio importante a las personas, y que además disminuirán significativamente los beneficios que se obtienen de los ecosistemas a largo plazo, éstos son:

- En primer lugar, la gran parte de los servicios de los ecosistemas se están degradando o se usan de manera no sostenible, con inclusión del agua dulce, la pesca de captura, la purificación del aire y del agua, la regulación del clima regional y local y los riesgos naturales. Los costes totales de la pérdida y la degradación de estos servicios de los ecosistemas son difíciles de medir, pero los datos disponibles demuestran que son considerables y que van en aumento. Muchos servicios de los ecosistemas se han degradado como consecuencia de actuaciones llevadas a cabo para aumentar el suministro de otros servicios, como los alimentos. Estas elecciones y arreglos suelen desplazar los costos de la degradación de un grupo de personas a otro, o traspasan los costos a las generaciones futuras.

- En segundo lugar, se ha establecido, aunque los datos son incompletos, que los cambios que se han hecho en los ecosistemas están aumentando la probabilidad de cambios no lineales en los mismos (incluidos cambios acelerados, abruptos y potencialmente irreversibles), que tienen consecuencias importantes para el bienestar humano. Algunos ejemplos de estos cambios son la aparición de enfermedades, las alteraciones bruscas de la calidad del agua, la creación de "zonas muertas" en las aguas costeras, el colapso de las pesquerías y los cambios en los climas regionales.
- En tercer lugar, la degradación de los servicios de los ecosistemas (es decir la merma persistente de la capacidad de un ecosistema de brindar servicios) está contribuyendo al aumento de las desigualdades y disparidades entre los grupos de personas, lo que, en ocasiones, es el principal factor causante de la pobreza y del conflicto social. Esto no significa que los cambios en los ecosistemas, como el aumento de la producción de alimentos, no hayan contribuido

también a que muchas personas salgan de la pobreza o del hambre, pero esos cambios han perjudicado a muchos otros individuos y comunidades, cuya apremiante situación muchas veces se ha pasado por alto.

Dicho de otra manera, la mala gestión es la causante de que los aumentos en degradación y variabilidad hidrológica, así como los cambios en el uso del suelo estén generando transformaciones irreversibles en los ecosistemas y en los servicios ambientales o servicios ecosistémicos ligados a éstos. Tal es el caso de los humedales, que almacenan la escorrentía, recargan acuíferos y digieren los residuos orgánicos, mientras los bosques proveen sombra a los ríos y arroyos, y retienen la erosión (Calvache *et al.*, 2012). El mismo autor, destaca como principales causas de pérdida o degradación de ecosistemas:

- Conversión de ecosistemas naturales para ganadería o agricultura.
- Quemadas de los ecosistemas naturales.

- Minería u otra extracción de recursos naturales.

Así pues, un conjunto efectivo de respuestas que aseguren una gestión sostenible de los ecosistemas requiere cambios sustanciales en las instituciones y en la gobernanza, en las políticas económicas e incentivos, en los factores sociales y de comportamiento, y en la tecnología y los conocimientos. Acciones como la integración de los objetivos de gestión de los ecosistemas en sectores tales como el forestal, la agricultura, finanzas, comercio y salud; el aumento de la transparencia y la rendición de cuentas de los gobiernos y de la actuación del sector privado en la gestión de los ecosistemas; la eliminación de los subsidios; el aumento de la utilización de los instrumentos económicos y los enfoques basados en el mercado; el fortalecimiento de los grupos que dependen de los servicios de los ecosistemas o a los que afecta su degradación; la promoción de tecnologías que permitan aumentar el rendimiento de las cosechas sin tener consecuencias perjudiciales en el medio ambiente; la restauración de los ecosistemas y la incorporación de valores de los ecosistemas y de sus servicios no basados

en el mercado en las decisiones de gestión; son acciones que podrían disminuir considerablemente la severidad de esos problemas en las próximas décadas (Reid *et al.*, 2005).

Al respecto, la UNESCO (2003) argumenta que las medidas de protección de los ecosistemas incluyen: iniciativas políticas y estratégicas destinadas a fijar objetivos, establecer normas y promover la gestión integrada del uso de la tierra y el agua; la educación ambiental; la presentación periódica de informes sobre la calidad del medio ambiente y sus cambios; el mantenimiento del caudal de los ríos; la protección del ambiente de origen de las aguas; la protección de especies, etc.

Por su parte, Siles (2008) enfatiza que para mantener la productividad de los ecosistemas se plantea como opción trabajarlos desde un enfoque ecosistémico desde el cual se promueve un manejo integrado de la tierra, el agua y demás recursos con la finalidad de conservarlos y hacer un uso equitativo y justo de éstos. Los consorcios son

un medio para gestionar los ecosistemas. Estos están conformados por tres o más organizaciones que tienen un propósito común, mantienen una relación abierta y realizan acciones donde todas las organizaciones están involucradas y toman decisiones en forma conjunta.

Como se ha mencionado, es un hecho que la humanidad depende completamente de los ecosistemas para su sostenimiento. Desde el agua que bebe hasta los alimentos que consume, desde el mar que le ofrece su riqueza de productos hasta el suelo sobre el que construye sus viviendas, los ecosistemas producen bienes y servicios sin los cuales no se podría sobrevivir. Los ecosistemas hacen que la Tierra sea habitable purificando el aire y el agua, manteniendo la biodiversidad, descomponiendo y dando lugar al ciclo de nutrientes y proporcionando todo un abanico de funciones críticas (Aznar, 2002).

En definitiva, los ecosistemas son muy imprescindibles para la vida, sin embargo, algo está ocurriendo en el presente; la sociedad se está olvidando que depende totalmente de ellos, y que a través de los

servicios que obtiene de estos, es como puede mantenerse un estilo de vida que conlleva a un bienestar social; esto se debe en gran medida, al tipo de desarrollo que han adoptado los gobiernos en la mayoría de los países del mundo. Siendo ésta, la relevancia que tienen los servicios ambientales, en el siguiente apartado se profundiza un poco más sobre éstos.

3.2 Servicios ambientales de bosques y cuencas

Hoy en día, la humanidad vive en una época en la que las cuestiones medioambientales no pueden pasar desapercibidas y los efectos de la actividad humana sobre los ecosistemas es evidente y preocupante, la cooperación de ciudadanos, investigadores y por supuesto, entes gubernamentales, es fundamental para generar las capacidades económicas y técnicas necesarias que permitan a los gobiernos, detener y revertir las consecuencias negativas de la explotación irracional de los recursos naturales, ya sea legal o ilegalmente (OMS, 2005).

El acelerado crecimiento de la población mundial durante el último siglo ha traído como consecuencia una mayor demanda de recursos naturales, de la mano del despliegue del desarrollo de industrias y tecnologías, se ha traído al siglo XXI una serie de dificultades y problemáticas que se reflejan en un trascendental deterioro ambiental, el cual, las autoridades gubernamentales no atienden; y todo ello conlleva sin duda alguna, a una merma en los servicios ambientales, provisos de los recursos necesarios para la vida humana.

Con base a lo anterior, Oyarzún *et al.* (2005) señala que las visiones convencionales respecto a la conservación de los ecosistemas, principalmente los bosques nativos, usadas hasta ahora no han logrado revertir los acelerados procesos de destrucción y degradación de los recursos naturales que estos proveen. Esto puede deberse en gran parte a la escasa valoración que reciben los servicios ambientales de los ecosistemas. Sin embargo, dichos servicios nos otorgan beneficios, como tener un buen clima, aire limpio, o simplemente un paisaje bello, entre otros (CONAFOR, 2013). Por su parte, Calvache *et al.* (2012)

define los servicios ambientales, como flujos de materiales, energía e información desde la reserva de capital natural, combinados con el capital industrial y el capital humano, para producir bienestar.

De acuerdo a la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (2005), los servicios ambientales se clasifican en servicios de provisión o producción, de soporte o apoyo, de regulación y culturales. Los servicios de aprovisionamiento se refieren a aquellos productos que se obtienen de los ecosistemas, como la madera, el alimento, el agua dulce, entre otros. Por su parte, los servicios de apoyo tienen que ver con procesos ecosistémicos, tales como el ciclo de nutrientes o la formación del suelo. Los servicios de regulación se refieren a la regulación del clima y de las inundaciones, o a la purificación del agua. Finalmente, los servicios culturales están relacionados con la recreación, la espiritualidad y la apreciación de lo estético.

Dichos servicios también pueden clasificarse, en servicios de bosques y de cuencas hidrológicas. Menchaca y Alvarado (2011), señalan como principales servicios

ambientales de los bosques: conservación de la biodiversidad, captura de carbono, calidad del aire, microclima, retención hídrica, calidad del suelo y estabilidad del suelo; para las cuencas hidrológicas se tiene: calidad de agua superficial, calidad de agua subterránea, regulación de caudales, productividad acuática vegetal, productividad acuática animal y belleza escénica.

En el caso de los servicios ambientales del bosque, CONAFOR (2013) establece que éstos, son los beneficios que la gente recibe de los diferentes ecosistemas forestales, ya sea de manera natural o por medio de su manejo sustentable, ya sea a nivel local, regional o global. Los servicios ambientales influyen directamente en el mantenimiento de la vida, generando beneficios y bienestar para las personas y las comunidades. Son ejemplos de servicios ambientales del bosque:

- Captación y filtración de agua;
- Mitigación de los efectos del cambio climático;
- Generación de oxígeno y asimilación de diversos contaminantes;
- Protección de la biodiversidad;

- Retención de suelo;
- Refugio de fauna silvestre;
- Belleza escénica, entre otros.

Uno de los servicios ambientales más imprescindibles para la población y la vida dentro del mismo ecosistema es el abastecimiento de agua. De Groot *et al.* (2002), citado en Oyarzún *et al.* (2005) definen al abastecimiento de agua por parte de los bosques como: “la filtración, retención y almacenamiento de agua en esteros, lagos y acuíferos”. La función de filtración está mayormente relacionada con la vegetación y el componente biótico del suelo, mientras que las funciones de retención y almacenamiento dependen además de las características específicas de un sitio, como por ejemplo, la topografía (De Groot *et al.*, 2002).

Actualmente, el ámbito de relevancia del agua se extiende aún más al desarrollarse una creciente conciencia ambiental que reconoce el papel fundamental que juega el recurso en los delicados equilibrios ecológicos globales. Por lo anterior, bajo un escenario de cambio climático global, el abastecimiento de agua en cuanto a disponibilidad y calidad

se convierte en una de las principales funciones ecosistémicas de los bosques. Sin embargo, mientras los productos forestales maderables poseen precios y mercados bien definidos, el servicio ambiental de abastecimiento de agua no cuenta con un mercado que registre el valor que dicha función del bosque tiene para la sociedad (Oyarzún *et al.*, 2005).

Cabe destacar, que los bosques conservados en las cuencas, generalmente tienen agua de mejor calidad, comparada con la que se produce de suelos con usos alternativos como agricultura, industria y asentamientos humanos. Estos producen más cantidades de contaminantes que entran a las cabeceras de los ríos. Los bosques también ayudan a regular la erosión de los suelos y por esto reducen la carga de sedimentos. De esta manera, la incidencia de los bosques en la calidad del agua y su beneficiosa relación de costo-efecto resulta clara y aceptada (Calvache *et al.*, 2012). Como referencia, Lara *et al.* (2009) predicen que por cada 10 % que se logre recuperar la cobertura de bosques nativos será posible incrementar en un 14,1 % los caudales totales de verano.

En México, el organismo responsable de la operación y la política forestal, es la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), destinada a impulsar las actividades productivas, la conservación y restauración de los bosques, selvas y vegetación de zonas áridas y semiáridas del país. La CONAFOR otorga incentivos a los propietarios de los terrenos forestales, para implementar distintas actividades productivas y de conservación, como es el caso de Pago por Servicios Ambientales (PSA) (Ortega *et al.*, 2013).

Respecto a los servicios ambientales proporcionados por las cuencas hidrológicas, se puede decir que el agua es un componente multifuncional ya que es un hábitat; un sistema de transporte de energía, materia orgánica y minerales; es el factor productivo de biomasa y alimentos; entre otras (Toledo, 2006). Y también es vital para la vida humana, además de ser la base para la producción de bienes y servicios (Menchaca y Alvarado, 2011).

Las cuencas hidrológicas son la unidad básica en la regulación del agua, ya que los patrones hídricos de éstas se relacionan con su relieve, pendiente, tamaño, ubicación

geográfica, tipo de suelo, y por supuesto, de los ecosistemas que la conforman (Cotler y Caire, 2009), citados en Menchaca y Alvarado (2011). De acuerdo con Orozco, Jimenez, Faustino, Prins (2008), citados en Menchaca y Alvarado (2011), una cuenca es un sistema compuesto por tres componentes: el biofísico formado por el agua, el suelo y el aire; el biológico formado por flora y fauna; y, la población humana con sus actividades económicas, su cultura y sus organizaciones. Por esta razón debe haber un equilibrio entre los componentes; si uno de ellos es afectado, se puede producir una alteración en el proceso que pone en peligro al sistema de la cuenca.

De todos los servicios ambientales, los servicios hidrológicos constituyen uno de los más importantes para los seres humanos, pues la manutención de los ecosistemas en su estado natural ayuda a mantener los servicios hidrológicos en equilibrio (Celleri, 2000), citado en Calvache *et al.* (2012). Así pues, la disponibilidad hídrica, tanto por cantidad como por calidad, tiene un importante impacto sobre la calidad de vida y el desarrollo socio-económico (Ruiz, 2007).

Cabe destacar, que la pérdida o degradación de los ecosistemas naturales produce un impacto en los servicios hidrológicos. Una vez que se haya producido un cambio en el uso de la tierra, los procesos biofísicos que controlan el régimen hidrológico también cambian y, por lo tanto, los servicios hidrológicos proporcionados por el ecosistema se degradan (Celleri, 2009), citado en Calvache *et al.* (2012). En consecuencia, es sumamente importante conservar y/o recuperar dichos servicios. A continuación se presenta la importancia que poseen los ecosistemas naturales para éstos:

I. Regulación del ciclo hidrológico

Los ecosistemas naturales ayudan a regular el ciclo hidrológico, almacenan agua en épocas lluviosas y liberan lentamente el agua en épocas de estiaje. Así mismo, son decisivos a la hora de controlar crecidas o inundaciones en ciertas épocas del año (Celleri y Feyen, 2009), citados en Calvache *et al.* (2012).

II. Control de la sedimentación

Los ecosistemas naturales protegen al suelo de efectos erosivos, producidos por el viento o la escorrentía. Las raíces de la vegetación natural ayudan a mantener el suelo aglutinado y firme, de manera que no se evacúe con lluvias y corrientes de agua y viento. Mantener una baja concentración de sedimentos en el agua es beneficioso para la operación de embalses de agua potable o para la generación hidroeléctrica, así como para mantener canales de riego en una condición óptima (Celleri y Feyen, 2009), citados en Calvache *et al.* (2012).

III. Calidad de agua

La vegetación natural ejerce un efecto de filtro y de barrera contra el agua contaminada por pesticidas, fertilizantes y otros contaminantes producidos por una agricultura o ganadería mal manejada. La vegetación tiene la capacidad de absorber varios contaminantes y almacenarlos en sus tejidos, o de transformarlos en sustancias menos peligrosas. También puede atrapar sólidos en suspensión, que pueden tener contaminantes pegados a ellos. La vegetación riparia (aquella que crece en las riberas de lagos

o ríos) es, así mismo, de gran importancia, pues es la última barrera protectora que previene la entrada de los contaminantes a los arroyos o a los ríos. La presencia de vegetación natural en una cuenca y, en particular, de bosques riparios y humedales ayuda a mantener una buena calidad de agua, lo cual se traduce en ahorro en costos de tratamiento y en una menor posibilidad de que las poblaciones humanas padezcan enfermedades ligadas a agua de mala calidad (Celleri y Feyen, 2009), citados en Calvache *et al.* (2012).

IV. Otros servicios hidrológicos

La vegetación natural ofrece beneficios adicionales que pueden ser importantes en ciertas áreas. Por ejemplo, la vegetación intercepta la niebla en bosques de neblina, lo que aumenta la cantidad de agua que entra al sistema hidrológico. Este efecto puede ser particularmente importante para zonas en donde la disponibilidad de agua es estacional y existe un déficit de agua en épocas secas. En otros casos, hay sitios en donde la vegetación natural puede ayudar con la infiltración de agua de cara a los acuíferos (Calvache *et al.*, 2012).

Respecto al abastecimiento de agua, que como se ha dicho, es uno de los servicios ambientales más imprescindibles para la población, es en una cuenca hidrográfica donde se conjugan todos los elementos que conforman un ecosistema y ocurren los procesos que regulan la oferta de este servicio. Por lo tanto, la estructura, funcionamiento y estado de conservación de la cuenca determinarán el bienestar logrado en cada una de las actividades que demanda el servicio, como por ejemplo, para la producción de agua potable, hidroelectricidad, pesca recreativa, etc. (Lara *et al.*, 2008), citados en Little (2010).

Ahora bien, es preciso hacer énfasis en que la mayoría de los servicios ambientales como son la regulación hídrica, control de sedimentos, almacenamiento de carbono, polinización y demás generan beneficios para la población humana, que casi nunca no son cuantificados ni reconocidos. Dentro de esta lógica, un área determinada puede ser crucial para un grupo de individuos, pues en ella se llevan a cabo ciertos procesos naturales que proveen servicios ambientales fundamentales para la vida (Calvache *et al.*, 2012).

Es lamentable que no exista inversión suficiente para asegurar la conservación de los ecosistemas naturales que les proveen estos importantes servicios a los seres humanos en las condiciones actuales. Un ejemplo son las áreas protegidas, que no cuentan con suficiente financiamiento para cubrir sus costos de manejo y de conservación: solo unas pocas áreas protegidas son autosuficientes financieramente, mientras que la mayor parte de ellas sigue enfrentando grandes déficits financieros. Los bajos niveles de inversión en conservación, la insuficiente capacidad del personal técnico para elaborar estrategias de financiamiento y la falta de participación de actores clave, tanto del sector público como privado, están socavando cada vez más los esfuerzos de conservación (Calvache *et al.*, 2012).

Otro problema más, es la contaminación de las fuentes de agua, ya que se crean costos adicionales relacionados con los problemas de salud de los habitantes. Fuentes de agua en mal estado generalmente están asociadas con variables tales como contaminantes provenientes de la agricultura, la industria y aguas residua-

les, que se traducen en graves problemas de salud, como se verá más adelante. Dichos problemas podrían evitarse con un adecuado manejo de las cuencas, que garantizara agua de buena calidad. En lugar de cubrir anualmente costos de filtros, energía para remoción de sedimentos, químicos para purificación del agua o nuevas plantas de tratamiento (infraestructura gris), es más eficiente y beneficioso invertir en la conservación de las cuencas (infraestructura verde) (Calvache *et al.*, 2012). De hecho, cuando el agua que se trata en las plantas proviene de una cuenca degradada, los costos son mucho más altos que cuando proviene de una cuenca conservada (Ruiz, 2007).

Esto significa, que los costos de tratamiento para hacer potable el agua dependen claramente del estado de conservación de las cuencas aportantes. Es por ello, que los bosques naturales deben ser protegidos por las autoridades ambientales, gobiernos locales y actores privados o comunales, con miras a mantener altos niveles de calidad en el agua suministrada.

Teniendo en cuenta lo anterior, deben plantearse soluciones para promover una gestión integral de las cuencas, por ejemplo, se puede proponer la creación de fondos de agua, los cuales están enfocados en el mantenimiento y conservación de servicios hidrológicos a través de la conservación y restauración de ecosistemas naturales. Además, a través de los mismos también se puede apoyar el mantenimiento de otros servicios, tales como el almacenamiento de carbono o la biodiversidad. Estos mecanismos permiten unir a varios usuarios del agua bajo una misma visión de manejo integral. Los fondos de agua están conformados por diversos usuarios del recurso, que van desde empresas de provisión de agua potable, de generación hidroeléctrica y privadas, hasta embotelladoras de agua, organizaciones de conservación y entidades de cooperación internacional. Este mecanismo rompe los esquemas tradicionales de manejo sectorial del agua para promover la participación de diversos usuarios, una visión y una gestión integral. El objetivo común consiste en garantizar la prestación de los servicios ambientales de una cuenca sana (Calvache *et al.*, 2012).

Al mismo tiempo, también es viable implementar el Pago por Servicios Ambientales (PSA), el cual es un instrumento que favorece la conservación de los hábitats y de las especies naturales. El uso de un índice que evalúe la calidad ecosistémica de un área permitirá ofrecer una recompensa económica en base al estado de naturalidad de la propiedad, así como hacer un seguimiento para controlar que el “servicio” por el cual se está pagando esté llevándose a cabo. Proteger la biodiversidad y la riqueza ecológica aporta beneficios cuantitativos al ser humano y, por ello, el propietario cuyos terrenos tienen cierta calidad ecosistémica debe ser económicamente premiado e incentivado (Orrantia *et al.*, 2008).

Dada la importancia de los servicios ambientales de bosques y cuencas hidrológicas, es vital estimular el desarrollo de estrategias de manejo innovadoras, que permitan mantener e incrementar los bienes y servicios ambientales que ofrecen los bosques y cuencas, y que en la actualidad no son considerados en la toma de decisiones en materia ambiental, porque no han sido cuantificados en

términos físicos ni han sido valorados económicamente (Oyarzún *et al.*, 2005).

En efecto, son muchas las opciones que se tienen para hacer un uso adecuado de los servicios ambientales de bosques y cuencas hidrológicas, de los cuales está claro que los seres humanos dependen 100% de ellos. Desafortunadamente la problemática a la que se enfrenta la sociedad hoy en día, es el acelerado consumo de los servicios de los ecosistemas, que ya no es sostenible en muchos casos. Así pues, el ser humano se ha beneficiado de dichos servicios desde su origen, la mayoría de las veces sin tomar conciencia de los impactos adversos que ello implica. Es por eso que se ha llegado a una degradación ambiental, pero que todavía puede y debe ser frenada, ya que el bienestar de las poblaciones siempre dependerá de la capacidad de los sistemas naturales para proporcionar bienes y servicios. Por ello, es un acto de justicia que los usuarios (beneficiarios) de estos servicios ambientales contribuyan a revertir los procesos de deterioro que los propios seres humanos han provocado, por mencionar alguno, el aceleramiento del cambio climático.

3.3 Problemática de las actividades antropogénicas que impactan en la calidad del agua superficial

Como se ha venido mencionando, el agua constituye una parte esencial de todo ecosistema, tanto en términos cualitativos como cuantitativos. Una reducción del agua disponible ya sea en la cantidad, en la calidad, o en ambas, provoca efectos negativos graves sobre los ecosistemas (UNESCO, 2003). Es por ello, que el manejo adecuado de los recursos hídricos se ha convertido en una prioridad mundial. De manera casi unánime, se ha reconocido que la calidad y el flujo del agua están siendo afectados por la transformación del uso del suelo, el crecimiento de las urbes y el cambio climático (Calvache *et al.*, 2012), entre otros factores, de los cuales el principal responsable es el hombre, y que a pesar de los evidentes problemas ambientales que persisten en la actualidad, no ha sido capaz de avanzar de manera consistente en la solución de los mismos.

De igual manera, se ha insistido en que el hombre mismo a través de cada una de las actividades que desarrolla para su subsistencia, es decir, la producción de

bienes y servicios, ha impactado negativamente los ecosistemas, lo que ha originado una merma en los servicios ambientales que estos proveen, principalmente aquéllos correspondientes a bosques y cuencas hidrológicas. A su vez, uno de los servicios ambientales más amenazado es la calidad del agua, que como se verá más adelante, es muy imprescindible para la sociedad, ya que el vital líquido es suministrado a la población para uso y consumo humano.

De acuerdo con Albert (2004), la contaminación ambiental siempre ha existido, pues en parte es inherente a las actividades humanas. Sin embargo, en años recientes se le ha debido prestar atención, ya que la frecuencia y gravedad de los incidentes de contaminación han aumentado en todo el mundo, cada día hay más pruebas de sus efectos adversos sobre el medio ambiente y la salud, aunque se ha considerado que éstos no existían, que no había prueba suficiente de ellos, o bien, que estos efectos eran leves o, inclusive, signos de progreso.

El mismo autor (2004), señala que aunque existe también la contaminación debida a causas naturales, como las erupciones volcánicas y la erosión, en términos generales, la contaminación de origen natural nunca es tan grave como la de origen antropogénico, de la misma manera que sus efectos adversos, sobre todo a largo plazo, son menores, es decir, el ecosistema mismo a través del tiempo tiene la capacidad de recuperarse y volver a su estado natural, mientras que un ecosistema impactado por las actividades antropogénicas puede llegar a ser degradado en su totalidad.

Los efectos más graves de la contaminación ocurren cuando la entrada de las sustancias (naturales o sintéticas) al ambiente rebasa la capacidad de los ecosistemas para asimilarlas y/o degradarlas. Es importante saber, que los contaminantes afectan a los ecosistemas de varias maneras, por ejemplo, los plaguicidas y metales pesados pueden ocasionar daños a los organismos expuestos bien por su aguda toxicidad o bien por qué se acumulan en los tejidos de plantas y animales a través de exposiciones repetidas. Los múltiples contaminantes pueden crear una

sinergia que debilita a los organismos y reduce paulatinamente la productividad, resistencia y capacidad de adaptación de un ecosistema (Aznar, 2002).

Con respecto a la escorrentía de fertilizantes, las aguas residuales de humanos y animales y un tratamiento precario de los residuos industriales, éstos pueden agregar nutrientes a los cuerpos de agua dulce, estimulando proliferaciones de algas y agotando el oxígeno del agua, un proceso conocido como eutrofización. Las aguas carentes de oxígeno no pueden sostener la vida acuática (Aznar, 2002).

Por otra parte, los daños ambientales originan un incremento de los desastres naturales, pues las inundaciones aumentan allí donde la deforestación y la erosión del suelo impiden la neutralización natural de los efectos del agua. El drenaje de humedales para la agricultura y la disminución de la evapotranspiración (por desmonte de tierras) causan otras perturbaciones en los sistemas naturales con graves repercusiones sobre la futura disponibilidad de agua (UNESCO, 2003).

Como se mencionó en el capítulo 2, la actividad agrícola demanda cantidades excesivas de agua; a pesar de ello, no han existido las suficientes medidas normativas ni el apoyo equitativo de recursos económicos y/o afines a la productividad agrícola, pues hasta fines del siglo XX la modernización agrícola no ha ayudado a solucionar el problema generalizado de la pobreza rural ni ha mejorado la distribución de la tierra agrícola. Los pequeños agricultores, que representan en promedio el 80% del total de los agricultores de América Latina y el Caribe, quedaron al margen del desarrollo, debido a que las opciones que se han ofrecido para dar un cambio a las formas de producción en la agricultura han sido inadecuadas a sus necesidades y posibilidades (PNUMA, 2000).

Debido a ello, va surgiendo un rezago en la mayoría de los agricultores, quienes suelen ser los más pobres, de tal manera que continúan explotando los recursos naturales de la misma forma que lo hacían anteriormente. Esto puede traer mayores consecuencias, ya que los problemas de contaminación generados por las prácticas de agricultura actuales, y por las diversas actividades antropogénicas es

probable que se intensifiquen. De esta forma, se entiende que la degradación de los ecosistemas, por lo general daña a las poblaciones rurales de manera directa y sus impactos más directos y graves recaen en los pobres (CEPAL, PNUMA, 2002).

De igual manera, la agricultura es considerada como la mayor fuente de contaminación de suelos y aguas en el medio rural, a través de las escorrentías. El uso de agroquímicos ha aumentado desproporcionadamente y se estima que la cantidad de metales pesados, sustancia químicas y residuos peligrosos se duplica cada 15 años. El empleo de agroquímicos permite tener un conocimiento aproximado de la carga contaminante que pesa sobre el medio rural, donde sólo el consumo de fertilizantes en América Latina creció entre 1990 y 1998 en cerca de 42%. La fertilización mediante nitrógeno en los cuerpos de agua es de uso creciente y repercute sobre la flora y fauna por efecto del crecimiento inusual de especies, como las algas (CEPAL, PNUMA, 2002).

A pesar de que algunas acciones antropogénicas, como la construcción de represas, diques o canales para el desvío de los cursos de agua, han sido capaces de satisfacer la oferta de agua para los períodos de escasez y mayor demanda, existen otras actividades con el mismo objetivo que se centran en aumentar la oferta de uno de los servicios ambientales más importantes, que es el abastecimiento de agua en las cuencas, las cuales hasta ahora no han sido consideradas. Estas acciones incluyen: la regulación de los usos del suelo presentes en una cuenca y su manejo, cambios en las prácticas de manejo del suelo (ejemplo: zanjas de infiltración que incrementan el almacenamiento de agua) y modificación de la composición, densidad y tamaño de los rodales boscosos, así como también mejoramiento en las prácticas de cosecha forestal y construcción de caminos en áreas donde se concentra la actividad forestal (Donoso, 2009), citado en Little (2010). Cabe destacar, que la recuperación de dicho servicio, será uno de los temas más relevantes por resolver y un desafío para la investigación científica de los próximos años, especialmente dadas las predicciones de cambio climático

que indican una importante reducción de las precipitaciones (Trenberth *et al.*, 2007), citado en el mismo autor (2010).

Otro de los servicios ambientales de gran relevancia, es la regulación hídrica que determina la calidad y cantidad de agua dulce disponible para la vida y el bienestar del ser humano, además se considera que los servicios ambientales asociados al agua y su efecto sobre calidad y cantidad en cuencas hidrográficas aportantes a acueductos y sistemas de riego, son de gran importancia económica y social, modificado de (Ruiz, 2007).

En resumen, cada una de las actividades antropogénicas trae consigo consecuencias que pueden llegar a ser devastadoras e incluso irreversibles para los ecosistemas. Tales impactos afectan los servicios ambientales, los cuales, como se ha insistido proveen al hombre los recursos naturales necesarios para su subsistencia, entre los que destaca el agua para consumo humano. Así pues, como resultado de la severa contaminación de origen antropogénico, el suministro de agua potable para uso y consumo humano se ha reducido

aún más. Durante las últimas décadas del siglo XX, se ha visto una acelerada descarga de productos químicos artificiales en los cuerpos de agua, muchos de los cuales son de larga duración y se transforman en subproductos cuyos comportamientos, sinergias e impactos no se conocen bien. Esto trae como consecuencia, una disminución de la disponibilidad en cantidad y calidad del agua, para cubrir las necesidades básicas del hombre, por ello, y como se verá a continuación, es imprescindible contar con agua de calidad para evitar afectaciones a la salud humana, y a su vez disminuir el índice de enfermedades causadas por la ingesta de agua contaminada.

3.4 La calidad del agua y su importancia para la salud humana

Más de novecientos millones de personas en el mundo carecen de agua potable y, una de cada tres, de sistemas adecuados de saneamiento y/o electricidad. Por otra parte, los sistemas de acueducto y alcantarillado sólo están al alcance de quienes pueden pagarlo. No obstante, la

realización de mejoras en los sistemas de saneamiento y acceso al agua podría evitar la muerte de cerca de 2,2 millones de niños al año. La mitad de la población urbana de África, Asia, América Latina y el Caribe sufre una o más enfermedades relacionadas con la insuficiencia del suministro de agua y del saneamiento. Aproximadamente 1,7 millones de personas mueren anualmente en todo el mundo a causa de la escasez de agua, saneamiento e higiene (Calvache *et al.*, 2012).

El acceso al agua potable es una cuestión importante en materia de salud y desarrollo en los ámbitos internacional, nacional, regional y local. En algunas regiones se ha comprobado que las inversiones en sistemas de abastecimiento de agua y de saneamiento pueden ser rentables desde un punto de vista económico, ya que la disminución de los efectos adversos para la salud y la consiguiente reducción de los costos de asistencia sanitaria son superiores al costo de las intervenciones (OMS, 2006).

La idea central, es hacer énfasis en que el agua dulce es esencial para la salud humana, pues se utiliza para cultivar alimentos, beber, la higiene personal, el lavado y la preparación de comidas y reciclaje de los desechos. La escasez de agua compromete la producción de alimento, la salud humana y el desarrollo económico. Globalmente, la disponibilidad de agua por persona ha declinado de forma marcada en décadas recientes, es decir, inicios del siglo XXI. Un tercio de la población mundial vive actualmente en países que experimentan un estrés hídrico entre medio y alto. Esta fracción continuará aumentando ya que tanto el tamaño de la población como la demanda de agua per cápita se incrementan como consecuencia del creciente uso de agua dulce para la agricultura bajo riego, la producción ganadera, la industria y los requerimientos de los residentes urbanos más ricos (OMS, 2005).

Por lo anterior, es preciso adoptar las medidas necesarias que el gobierno siempre menciona en sus planes de desarrollo, pero nunca se ven resultados claros, principalmente la prevención de contaminación de los cuerpos naturales de agua, pues de no ser así, es probable

que se agraven los problemas de salud, ya que ésta depende en su totalidad de la calidad del agua que se suministra a la población. Por ello, hay que tomar en cuenta la relevancia que tiene la correcta selección de los recursos de agua cuyo fin sea el abastecimiento, ya que entre más limpio sea el recurso, más sano será para beber (Gray, 1994). Por otra parte, los costos de tratamiento para hacer potable el agua dependen claramente del estado de conservación de las cuencas aportantes, en consecuencia, los bosques naturales deben ser protegidos por las autoridades ambientales, gobiernos locales y actores privados o comunales, con miras a mantener altos niveles de calidad en el agua suministrada (Calvache *et al.*, 2012).

También es imprescindible eliminar cualquier material o producto químico que aparezca en el recurso, antes de ser suministrado a la población. De acuerdo con la OMS (2007), la salud puede verse comprometida cuando bacterias, virus o parásitos perniciosos contaminan el agua potable en la fuente misma, por infiltración del agua de escorrentía contaminada, o en el interior del sistema de distribución por tuberías. Asimismo, la manipulación

antihigiénica del agua durante el transporte o en el hogar puede contaminar el agua que antes era salubre. Por estos motivos, muchos de los que disponen de una fuente mejorada de agua a través de una red de tuberías, pozos protegidos o de otras fuentes mejoradas están de hecho expuestos a la contaminación del agua.

La contaminación puede infiltrarse también desde fuentes naturales (como en el caso de la contaminación por arsénico), pero principalmente a partir de acciones humanas que liberan productos químicos tóxicos en el medio ambiente (por ejemplo con el uso de pesticidas). Los productos químicos tóxicos pueden causar una variedad de efectos adversos en la salud; una exposición a dosis bajas de productos químicos presentes en efluentes industriales o utilizados como pesticidas tales como los bifenilos policlorados, las dioxinas y el DDT, pueden causar alteraciones endocrinas, socavando la resistencia a las enfermedades y afectando la reproducción. También son responsables de impactos más agudos sobre la salud, incluyendo envenenamientos (OMS, 2005).

Uno de los grandes problemas de contaminación causado por acciones humanas, es la contaminación microbiana de los grandes cuerpos de agua, y por tanto de los sistemas de abastecimiento urbanos. Ésta puede causar grandes brotes de enfermedades transmitidas por el agua. Por lo tanto, es prioritario garantizar la calidad del agua en dichos sistemas de abastecimiento. No obstante, la mayoría (alrededor del 80%) de la población mundial sin acceso a sistemas mejorados de abastecimiento de agua de consumo vive en zonas rurales. De forma similar, en la mayoría de los países, la contribución de los sistemas de abastecimiento pequeños y comunitarios a los problemas generales de calidad del agua de consumo es proporcionalmente alta. Este tipo de factores deben tenerse en cuenta al determinar las prioridades locales y nacionales (OMS, 2006).

En síntesis, los problemas que se han venido presentando hasta el momento no son más que una alerta para los tomadores de decisiones, pues lo que hoy puede ser algo minúsculo, y que aún pasa desapercibido, tal vez mañana se convierta en serias afectaciones a la salud de la

sociedad, afectando incluso a los que viven en países desarrollados. Así pues, son ellos los que tienen que actuar de tal manera que se prohíba cualquier tipo de descarga de agua en los cuerpos naturales, ya que algunos de los contaminantes son muy difíciles de eliminar, de modo que se requiere urgentemente la adopción de nuevas estrategias de gestión que controlen la manera en que se utiliza el suelo y los recursos hídricos para proteger el agua potable conforme discurre desde la cuenca hasta los grifos (Gray, 1994).

3.5 Enfermedades transmitidas por el agua

De acuerdo a la OMS (2005), más de 1.000 millones de personas no tienen acceso a abastecimientos de agua segura, y cerca de 2.600 millones no cuentan con el saneamiento adecuado. Estas condiciones han conducido a una extensa contaminación microbiana del agua para consumo humano. Las enfermedades infecciosas asociadas con el agua son el origen de la muerte de hasta 3,2 millones de personas cada año, aproximadamente el 6% de todas

las muertes del mundo. La carga de morbilidad ocasionada por el agua, el saneamiento y la higiene inadecuados es de 1,7 millones de muertes y la pérdida de más de 54 millones de años de vida sana. Las inversiones en agua potable y en mejorar el saneamiento muestran una clara correspondencia con mejoras en la salud humana y la productividad económica. Diariamente cada persona necesita entre 20 y 50 litros de agua, libre de productos químicos nocivos y de contaminantes microbianos, para beber, cocinar y para su higiene.

Según la guía para la calidad del agua potable de la OMS (2006), el agua de consumo inocua (agua potable), se define como aquella que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida. Menciona también, que las personas que presentan mayor riesgo de contraer enfermedades transmitidas por el agua son los lactantes y los niños de corta edad, las personas debilitadas o que viven en condiciones antihigiénicas y los ancianos, aunque los

efectos del agua contaminada son para toda la población. Además, los riesgos para la salud relacionados con el agua de consumo más comunes y extendidos son las enfermedades infecciosas ocasionadas por agentes patógenos como bacterias, virus, protozoos y helmintos.

De hecho, desde que el ser humano se encuentra en el planeta Tierra, ha ido adquiriendo un número considerable de parásitos, cerca de 300 especies de helmintos y casi 70 especies de protozoos, de los cuales cerca de 90 especies son comunes, y una pequeña proporción de éstos causan importantes enfermedades a nivel mundial. Las deficientes condiciones sanitarias (ambientales, de infraestructura y educación) predisponen a un mayor riesgo de infección por helmintos y protozoarios, lo cual repercute en su estado nutricional (CEPAL, PNUMA, 2002)

En términos generales, los mayores riesgos microbianos son los derivados del consumo de agua contaminada con excrementos humanos o animales (incluidos los de las aves). Los excrementos pueden ser

fuentes de patógenos, como bacterias, virus, protozoos y helmintos. Los patógenos fecales son los que más preocupan para lograr las metas de protección de la salud relativas a la inocuidad microbiana. Se producen con frecuencia variaciones bruscas de la calidad microbiológica del agua. Pueden producirse aumentos repentinos de la concentración de patógenos que pueden aumentar considerablemente el riesgo y desencadenar brotes de enfermedades transmitidas por el agua. Además, pueden exponerse a la enfermedad numerosas personas antes de que se detecte la contaminación microbiana. Por estos motivos, para garantizar la inocuidad microbiana del agua de consumo no puede confiarse únicamente en la realización de análisis del producto final, incluso si se realizan con frecuencia (OMS, 2006). La Figura 3.1 proporciona información general sobre agentes patógenos importantes que afectan la salud humana.

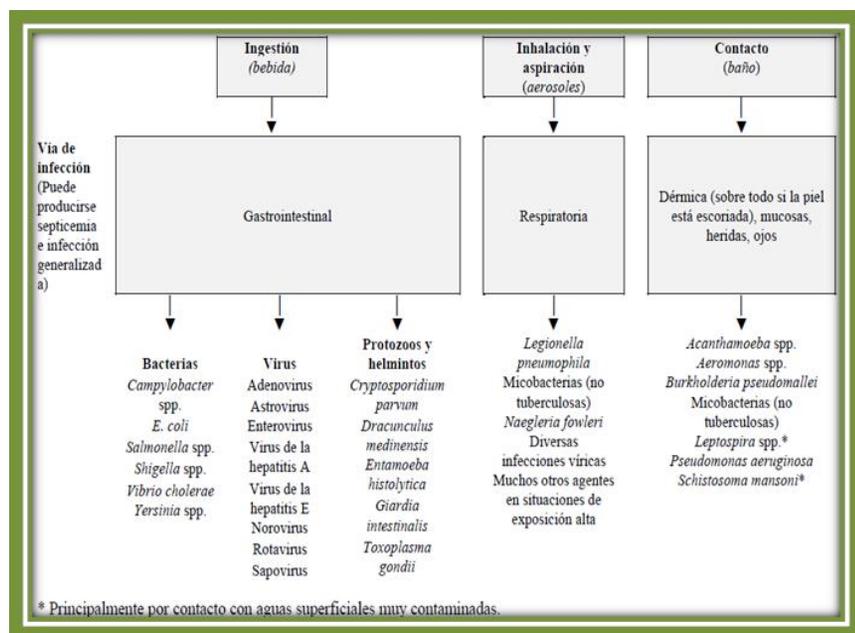


Figura 3.1 Vías de transmisión y ejemplos de agentes patógenos relacionados con el agua. **Fuente:** OMS, 2006.

En la figura anterior, puede observarse que las bacterias, virus, protozoos y helmintos, son los causantes de las enfermedades gastrointestinales, originadas por la ingestión de agua contaminada, principalmente por heces fecales. Cabe destacar, que en el caso de los helmintos, como los nematodos y platelmintos parásitos, el agua de consumo no debe contener larvas maduras ni huevos fertilizados, ya que un único ejemplar puede ocasionar una

infección. No obstante, el agua es una vía relativamente poco importante de infección por helmintos, con la excepción del dracúnculo (OMS, 2006).

La OPS (1980) menciona que las enfermedades transmitidas por el agua, se originan por ingestión del líquido contaminado o por contacto (al bañarse, vadear, nadar, por inhalación o por exposición ocular) con agentes etiológicos contenidos en el agua. Las enfermedades adquiridas por ingestión se clasifican en: 1) intoxicaciones causadas por sustancias químicas o toxinas producidas por microorganismos; 2) infecciones causadas por bacterias que elaboran enterotoxinas (toxinas que afectan a los tejidos de la mucosa intestinal, generalmente al interferir en el transporte de la sal y el agua) durante su proliferación en el tubo digestivo, y 3) infecciones causadas por microorganismos que invaden la mucosa intestinal u otros tejidos y se multiplican.

Las enfermedades adquiridas por contacto se clasifican en: 1) infecciones causadas por microorganismos que penetran en la piel o invaden lesiones cutáneas, las

vías urinarias, los oídos, la nariz o los ojos y se multiplican allí mismo o emigran a otros tejidos y proliferan, y 2) erupciones o irritaciones cutáneas causadas por microorganismos o sustancias químicas contenidos en el agua.

Tomando en cuenta la clasificación anterior, es preciso resaltar la significancia que posee la ingestión de agua contaminada, ya que este factor como se ha mencionado, se encuentra entre las principales causas de muerte, principalmente en la población infantil. Las enfermedades relacionadas con la contaminación del agua de consumo tienen una gran repercusión en la salud de las personas, por ello, deben medrarse las medidas destinadas a mejorar la calidad del agua de consumo, ya que éstas proporcionan beneficios significativos para la salud. Existen diversas enfermedades, que pueden producir efectos de diversa gravedad, que pueden ser agudos, retardados o crónicos, y que afectan tanto a la morbilidad como a la mortalidad (OMS, 2006). Las principales enfermedades relacionadas con el agua son: Anemia, arsenicosis, ascariasis, cólera, fluorosis, enfermedad del gusano de

Guinea, Hepatitis, leptospirosis, malaria, oncocercosis, tiña, tracoma, esquistosomiasis, entre otras (OMS, 2013).

Es muy importante tener en cuenta, que la transmisión por el agua de consumo es sólo uno de los vehículos de transmisión de los agentes patógenos transmitidos por la vía fecal-oral. Pueden ser también vehículo de transmisión los alimentos contaminados, las manos, los utensilios y la ropa, sobre todo cuando el saneamiento e higiene domésticos son deficientes. Para reducir la transmisión de enfermedades por la vía fecal-oral es importante mejorar la calidad del agua y su disponibilidad, así como los sistemas de eliminación de excrementos y la higiene general (OMS, 2006).

En conclusión, es imprescindible monitorear y mejorar constantemente los sistemas de abastecimiento de agua, así como también optimizar las medidas sanitarias que los seres humanos adoptan en sus hogares. Al respecto, la OMS (2007) menciona que se deben incorporar a las estrategias nacionales enfoques domiciliarios sencillos, que garanticen la salubridad del agua de bebida.

V. MARCO METODOLÓGICO

En este apartado se presenta la metodología empleada para llevar a cabo el trabajo de investigación. Se muestra en la Figura 5.1, el esquema que comprende las distintas fases, mismas que se describen a continuación.

5.1 Determinación del objeto de estudio

Se establece como objeto de estudio: analizar los impactos adversos que generan las actividades antropogénicas de los usuarios del agua en la microcuenca del río Pixquiac, a los servicios ambientales de bosques y cuencas hidrológicas, tomando como ejemplo la calidad del agua superficial, y a su vez, cómo ésta puede causar afectaciones a la salud a través de la ingesta de agua contaminada. Se presentan a continuación las variables involucradas en la presente investigación, clasificándolas en variable independiente (factor antrópico) y variables dependientes (calidad del agua y salud).

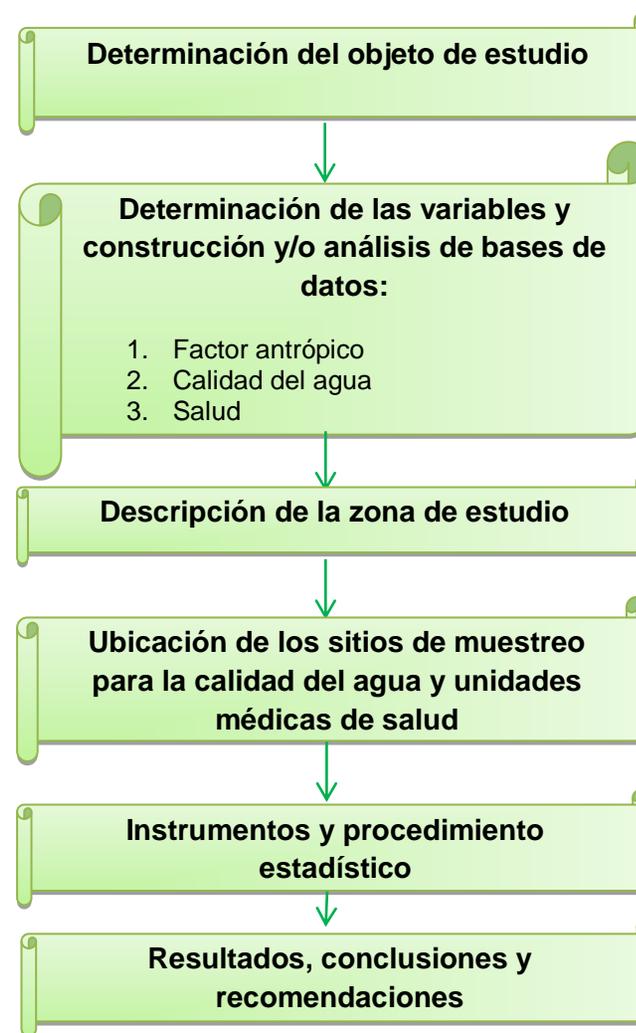


Figura 5.1 Esquema metodológico. **Fuente:** Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

5.2 Determinación de las variables y construcción y/o análisis de bases de datos

A continuación se describe cómo se determinó cada una de las variables, así como la forma en que se construyeron las bases de datos.

1. Variable independiente: Factor antrópico

Se define como factor antrópico al conjunto de actividades realizadas por el hombre para la producción de bienes y servicios para su subsistencia, las cuales generan afectaciones a los ecosistemas y por consiguiente a los servicios ambientales de éstos (Menchaca y Alvarado, 2011). Se considera como la única variable independiente, debido a que las actividades antropogénicas están relacionadas directamente con la contaminación de los cuerpos de agua superficiales, situación que genera una merma en la disponibilidad y calidad del recurso.

Para determinar la variable independiente, se utilizaron los resultados de las bases de datos de factor

antrópico, mismas que forman parte de una de las líneas de investigación, que se ha desarrollado en el Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, ABCC (Agua, Bosques, Cuencas y Costas), del Centro de Ciencias de la Tierra-UV. En dicho trabajo, se utilizó como base la matriz de Leopold, que fue modificada para adaptarla conforme a los requerimientos necesarios para evaluar la situación de los servicios ambientales de bosque y cuencas hidrológicas, y también para analizar cómo se ve afectada la sociedad (Alvarado, 2010).

A continuación se definen, tanto conceptual como operacionalmente las variables del factor antrópico (ver tabla 5.1), y en la Tabla 5.2, se muestran los principales servicios ambientales afectados por las actividades antropogénicas en la microcuenca del río Pixquiac, entre los que destaca la calidad del agua superficial, que es un servicio ambiental de cuencas hidrológicas, y es considerada como una de las variables dependientes en la presente investigación.

Tabla 5.1 Definición de las variables del factor antrópico

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional (Actividades desarrolladas en la microcuenca)
<i>Actividad agrícola</i>	Conjunto de técnicas de cultivo con la finalidad de producir alimentos.	<ul style="list-style-type: none"> • Control de insectos: Uso de sustancias químicas (pesticidas) o instalación de trampas para minimizar la presencia de insectos, cantidad y periodicidad de aplicación. • Control de pequeños roedores: Uso de venenos (sustancias químicas) para minimizar la presencia de animales roedores como ratones, tuzas, tlacuaches, entre otros. • Control de “malas hierbas”: Uso de sustancias químicas (herbicidas) para evitar el crecimiento de especies vegetales, cantidad y periodicidad de aplicación. • Aplicación de agroquímicos: Uso de sustancias químicas (fertilizantes) para maximizar el rendimiento de los cultivos, cantidad y periodicidad de aplicación. • Método de laboreo: Movimientos de la tierra con fines agrícolas que afectan las características naturales del suelo.
<i>Actividad pecuaria:</i>	Cría y engorda de ganado, aves de corral y otros animales para su aprovechamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Crianza de ganado, aves o porcinos: Tipo de crianza de los animales que tienen los productores de este sector. • Limpieza del área donde habitan: Disposición final de residuos de los animales, así como higienización del área donde habitan. • Pastoreo: Alimentación de especies ganaderas de tipo extensivo, combinado con cobertura vegetal, o sustitución de la cobertura vegetal por siembra de alimentos para el ganado.
<i>Actividad foresta:</i>	Conjunto de acciones tendientes al aprovechamiento de los bosques, que implica tanto su cuidado como el uso no racional de los recursos maderables	<ul style="list-style-type: none"> • Explotación de bosques madereros: Cantidad de árboles o madera que se comercializa al año. • Tala inmoderada: Extracción en exceso de árboles, que rebasan la capacidad de auto recuperación de los ecosistemas explotados.

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional (Actividades desarrolladas en la microcuenca)
<i>Actividad de acuicultura:</i>	Cultivo, reproducción y desarrollo de cualquier especie de la fauna acuática con fines comerciales.	<ul style="list-style-type: none"> • Método de crianza: Proceso que se utiliza para alimentación y reproducción de especies animales acuáticas con fines comerciales. • Sustancias químicas para la alimentación o control de enfermedades: Suministro de sustancias químicas en los estanques de producción, ya sea para la alimentación o dosificación de fármacos para el control de enfermedades de las especies acuáticas cultivadas. • Modificación del patrón de corriente: Intervención en el flujo natural de la corriente superficial, con la finalidad de extraer cierta cantidad de agua para la producción acuícola; tipo de infraestructura utilizada para extraer el agua y condiciones en las que se descarga al final del proceso.
<i>Actividades domésticas</i>	Actividades de la vida cotidiana que se llevan a cabo en el interior de los hogares para la higiene, alimentación, y/o usos y costumbres.	<ul style="list-style-type: none"> • Descarga de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica: Disposición final de aguas servidas en cuerpos superficiales de agua o en el suelo. • Descarga de grasas y aceites: Disposición final de residuos originados en la elaboración de alimentos, etc. • Descarga de detergentes y jabones: Disposición final de residuos de jabón y detergente. • Drenaje: Infraestructura para coleccionar las aguas servidas hacia cuerpos de agua superficiales o plantas de tratamiento.
<i>Actividad industrial:</i>	Conjunto de procesos y actividades que tienen como finalidad transformar las materias primas en productos elaborados en forma masiva.	<ul style="list-style-type: none"> • Descargas de aguas con residuos tóxicos: Disposición de aguas residuales que contienen metales pesados, hidrocarburos, solventes, etcétera. • Derrames y escapes: Fugas de material utilizado en la actividad industrial, que se presentan de forma accidental.

Fuente: Menchaca y Alvarado, 2010; Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, ABCC.

Tabla 5.2 Servicios ambientales de bosques y cuencas hidrológicas.

Tipo de servicio	Definición Conceptual	Definición Operacional (Servicios ambientales)
<p><i>Servicios Ambientales proporcionados por las Cuencas Hidrológicas</i></p>	<p>Beneficios ambientales proporcionados por las cuencas hidrológicas, de los cuales, el humano aprovecha para desempeñar sus actividades sociales y económico-productivas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad de agua superficial: Cambio en la composición del agua superficial en términos físicos, químicos y biológicos. • Calidad de agua subterránea: Cambio en la composición del agua subterránea en términos físicos, químicos y biológicos. • Regulación de caudales: Disminución de la cantidad de agua debido a la alteración del conjunto de procesos para conservar el flujo de los cuerpos de agua superficial. • Productividad acuática vegetal y animal: Afectación a las especies vegetales y animales acuáticas de los ecosistemas. • Belleza escénica: Modificación de los paisajes, constituidos por una amplia gama de recursos naturales como ríos, montañas, lagos y la biodiversidad de la microcuenca.
<p><i>Servicios Ambientales proporcionados por los Bosques</i></p>	<p>Beneficios ambientales proporcionados por las cuencas hidrológicas, de los cuales, el humano aprovecha para desempeñar sus actividades sociales y económico-productivas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conservación de la biodiversidad: Afectaciones a la diversidad biológica que los bosques albergan. • Captura de carbono: Alteración en las especies vegetales terrestres capaces de almacenar una cantidad importante de carbono, debido a la modificación de usos de suelo, tala inmoderada o reforestación. • Calidad del aire: Alteración de la composición natural del aire debido a emisiones de gases de efecto invernadero o a la disminución de cobertura vegetal. • Microclima: Alteración de las condiciones atmosféricas en un ámbito local. • Retención hídrica: Disminución de la capacidad del suelo para almacenar agua. • Calidad del suelo: Modificación de la composición del suelo, provocada por las actividades antropogénicas. • Estabilidad del suelo: Alteración de la resistencia que tiene el suelo ante un cambio determinado por fuerzas externas.

Fuente: Menchaca y Alvarado, 2010; Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, ABCC.

2. Variable dependiente: Calidad del agua para consumo humano; características químicas, metales pesados y características bacteriológicas.

Se establece como variable dependiente la calidad del agua superficial, pues ésta además de depender de la región geográfica en donde se ubica la microcuenca, se ve influenciada por las actividades de origen antropogénico que ahí mismo se desarrollan. Sin embargo, como se ha venido reiterando, las actividades antropogénicas son la principal causa de que se alteren las características físico-químicas y biológicas del agua.

Por ello, se considera a la calidad del agua como una variable dependiente, que está directamente relacionada con las actividades de origen antropogénico (factor antrópico), convirtiéndose ésta en uno de los servicios ambientales más imprescindibles, ya que los cuerpos de agua son utilizados como fuente de abastecimiento para la población urbana y rural.

Para determinar la calidad del agua, se elaboró una base de datos a partir de información proporcionada por el Departamento de Control de Calidad, de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS-Xalapa). Los datos que conforman dicha base, fueron extraídos de los reportes de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos en fuentes de abastecimiento.

En dichos reportes se presentan los registros de las concentraciones de los indicadores. El monitoreo consistió en realizar cuatro muestreos anuales. La base de datos de calidad del agua comprende un periodo de ocho años, que van del 2005 al 2012.

Posteriormente, los indicadores se clasificaron en tres grupos: características químicas, metales pesados y características bacteriológicas. Cabe señalar, que a pesar de que los metales pesados forman parte de las características químicas del agua, éstos se consideraron aparte debido al riesgo que constituyen para el medio ambiente y la salud humana.

De esta manera, fueron elegidos once indicadores de la calidad del agua, los cuales se muestran en la Tabla 5.3. Los indicadores fueron seleccionados de acuerdo a dos principales criterios, que son la relación que existe entre éstos y las actividades antropogénicas de la microcuenca del río Pixquiac y el hecho de que constituyen un riesgo serio para la salud de las poblaciones.

Así pues, se procedió a organizar los resultados obtenidos para finalmente analizarlos de acuerdo a las tres zonas, por estaciones del año y temporalmente, es decir, el comportamiento de éstos a través de los 8 años de los que se tiene registro. La normatividad que se utilizó como referencia fue la descrita en el capítulo dos del marco teórico.

Tabla 5.3 Indicadores de la calidad del agua.

Clasificación	Definición	Indicadores
<i>Características Químicas</i>	Son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.	<ul style="list-style-type: none"> • Cianuro • Fosfatos • Fenoles • Detergentes • Nitritos • Nitratos
<i>Metales pesados</i>	Son sustancias con una gran estabilidad química ante los procesos de biodegradación, por lo que los seres vivos son incapaces de metabolizarlos, generándose una contaminación por bioacumulación y un efecto multiplicador en la concentración del contaminante en la cadena trófica.	<ul style="list-style-type: none"> • Arsénico • Plomo • Cadmio
<i>Características Bacteriológicas</i>	Son aquellas debidas a microorganismos nocivos a la salud humana. Para efectos de control sanitario se determina el contenido de indicadores generales de contaminación microbiológica, específicamente organismos coliformes totales y <i>Escherichia coli</i> o coliformes fecales.	<ul style="list-style-type: none"> • Coliformes totales • Coliformes fecales

Fuente: Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, ABCC.

3. Variable dependiente: Salud; enfermedades transmitidas por el agua

Se considera de vital importancia, examinar las enfermedades que padecen los habitantes de las localidades que se abastecen de agua de los cuerpos naturales en la microcuenca, para analizar la posible relación que existe entre éstas y los contaminantes presentes en el agua generados por el factor antrópico.

En este sentido, la salud se estable como segunda variable dependiente, ya que está relacionada directamente con la calidad del agua que consumen los habitantes de la microcuenca. De esta manera, se elaboró la tercera base de datos a partir de información proporcionada por la Secretaría de Salud del Estado de Veracruz (SSV). Se solicitó en primera instancia, la morbilidad de las unidades médicas localizadas en los municipios que conforman la microcuenca del río Pixquiac; posteriormente, se procedió a identificar a cuáles de esas unidades pertenecen las localidades ubicadas en la zona de estudio.

Cabe señalar, que para aquellas localidades que no fueron identificadas en ninguna de las unidades obtenidas, se solicitaron las unidades que atienden dichas localidades, independientemente de si éstas se encontraban o no, en los municipios de la microcuenca. Finalmente, se determinaron cuáles son las enfermedades que de acuerdo a la literatura son causadas por microorganismos y/o sustancias químicas, y que se transmiten mediante la ingesta de agua contaminada. En la Tabla 5.4, se puede ver cuáles son las enfermedades seleccionadas, así como su respectivo diagnóstico.

Es importante mencionar, que los datos cuantitativos referentes al número de casos de enfermedades registrados por unidad, incluyen tanto a las localidades ubicadas en la zona de estudio, así como otros núcleos de población rural que se encuentran fuera de la zona delimitada, y/o que incluso pudiesen pertenecer a otros municipios, pero que son atendidos en dichas unidades.

Así pues, se elaboró la base de datos de salud, la cual consta de los casos de enfermedad registrados en seis

unidades médicas para un periodo de ocho años, que van del año 2005 al 2012, mismo lapso de tiempo analizado para la calidad del agua. De esta manera, se determinó cuáles son las enfermedades con mayor prevalencia y cuáles fueron los años que presentaron mayor número de casos. A continuación se presentan las seis unidades médicas, así como su respectivo municipio, y la zona de la microcuenca en que éstas se ubican:

- Tembladeras (Xico-Alta)
- Acajete (Acajete-Media)
- Acocota (Acajete-Media)
- Coatepec (Coatepec-Baja)
- Cinco Palos (Coatepec-Baja)
- San Antonio Hidalgo (Tlalnelhuayocan-Baja)

Tabla 5.4 Enfermedades relacionadas con el agua.

Enfermedades	Diagnóstico
<i>Infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas</i>	Las infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas, son aquellas enfermedades diarreicas que no han podido ser clasificadas y que pueden ser originadas por bacterias, virus o parásitos, cuya transmisión puede ser por agua y alimentos.
<i>Ascariasis</i>	La Ascariasis es la helmintiasis intestinal más frecuente en el mundo. Es una infección del intestino delgado causada por <i>Ascaris lumbricoides</i> . La ascariasis constituye un problema de salud pública en situaciones con condiciones higiénicas inadecuadas del agua y alimentos, aunque también se ha asociado al uso agrícola de aguas residuales sin tratar. De acuerdo a la OMS (2006), el agua de consumo insalubre, contaminada con tierra o heces, puede actuar como vehículo para la transmisión de <i>áscaris</i> , no obstante, en la mayoría de los casos el modo de transmisión normal se debe a la ingestión de los huevos presentes en los alimentos contaminados con heces o tierra que contiene con heces. Regularmente no hay síntomas, pero cuando se presentan pueden abarcar expulsión de lombrices en las heces, dolor de estómago, vomito con lombrices, entre otros. En el peor de los casos, las larvas pueden migran a través del torrente sanguíneo hasta los pulmones, lo que puede causar una forma infrecuente de neumonía llamada eosinofílica.
<i>Amebiasis intestinal</i>	La amebiasis intestinal es el nombre con que se describe la parasitosis humana causada por el protozooario <i>Entamoeba histolytica</i> . La contaminación por este microorganismo es común cuando los excrementos humanos se utilizan como fertilizantes. Los vehículos principales de transmisión son el agua y alimentos contaminados con quistes, los cuales son cuerpos resistentes que se eliminan en las heces fecales y son transportados al suelo, de aquí son impulsados por el viento y contaminan vegetales, frutas y agua potable, y cuando son consumidos transmiten la enfermedad. A pesar de que los quistes soportan las concentraciones de cloro en el agua purificada, pueden ser destruidos por los procedimientos de filtración y por el método de electrólisis, así como la ebullición, yodo y ácido acético. La mayoría de las personas con esta infección no tienen síntomas. Si se presentan, se observan de 7 a 28 días después de estar expuesto al parásito. Entre los síntomas leves destacan los cólicos abdominales, diarrea, fatiga, gases excesivos, dolor rectal durante la defecación, entre otros.

<p><i>Otras Helminthiasis</i></p>	<p>Las helmintiasis se transmiten por los huevos eliminados a través de las heces de las personas infectadas, la transmisión se da regularmente por el suelo. En las zonas que carecen de sistemas adecuados de saneamiento, esos huevos contaminan el suelo lo que puede ocurrir por distintas vías, entre las que destacan las fuentes de agua contaminadas. Por tanto la infección de las personas es consecuencia de la ingestión de tierra, alimentos o agua contaminada con huevos embrionados infectantes. Con relación a los factores condicionantes generales, cabe destacar que estos parásitos tiene como principal factor común, decisivo para su existencia y difusión, la necesidad de un alto grado de “fecalismo ambiental”. Es decir que, por carencias en el saneamiento y deficiente abastecimiento de agua potable, el ambiente y por tanto aguas y alimentos tienen un alto índice de contaminación con excretas humanas, facilitando así la transmisión de estas parasitosis.</p>
<p><i>Paratifoidea y otras salmonelosis</i></p>	<p>Se conoce como salmonelosis al grupo de infecciones producidas por bacilos del género <i>Salmonella</i>, las cuales se adquieren por la ingesta de alimentos o bebidas contaminados. Son criaturas vivientes microscópicas que pasan de las heces de las personas o los animales a otras personas u otros animales. Se han identificado más de 2500 serotipos de <i>Salmonella</i> en una gran diversidad de nichos ecológicos. Una gran parte de las infecciones en el humano es ocasionada por <i>Salmonella entérica</i>. Con respecto a la fiebre paratifoidea, ésta causada principalmente por <i>Salmonella Paratyphi A</i> y <i>Salmonella Paratyphi B</i>. Debido a la dificultad para discernir entre fiebre tifoidea y Paratifoidea, se engloban en el grupo de las llamadas “fiebres entéricas”. La vía de transmisión es a través de agua o alimentos contaminados con orina o heces de un enfermo o portador.</p>
<p><i>Hepatitis aguda tipo A</i></p>	<p>El Virus de la Hepatitis Aguda tipo A (VHA) se excreta en la materia fecal de las personas infectadas y hay pruebas epidemiológicas sólidas de que el agua y los alimentos contaminados por heces son fuentes comunes del virus, lo cual constituye un riesgo importante para la salud. La vía de transmisión más común es, probablemente, de persona a persona, pero los alimentos y el agua contaminados son fuentes de infección importantes. En un plan de seguridad del agua, las medidas de control orientadas a reducir el riesgo potencial derivado del VHA deben centrarse en la prevención de la contaminación del agua de alimentación por residuos humanos, y su posterior tratamiento y desinfección adecuados, pues los virus son más resistentes a la desinfección que las bacterias. Al igual que otros virus entéricos, el VHA accede por ingestión al aparato digestivo e infecta las células epiteliales. Desde ahí, el virus penetra en el torrente sanguíneo y llega al hígado, donde puede dañar gravemente las células hepáticas.</p>

<p><i>Giardiasis</i></p>	<p>El género <i>Giardia</i> comprende diversas especies, pero la infección que afecta a las personas (giardiasis) suele atribuirse a la especie <i>G. intestinalis</i>, también conocida como <i>G. lamblia</i> o <i>G. duodenalis</i>. <i>Giardia</i> puede multiplicarse en muy diversas especies animales, incluido el ser humano, que excretan quistes al medio ambiente. La vía de transmisión de <i>Giardia</i> más habitual, es el contacto entre personas, sobre todo entre niños. El agua de consumo, las aguas recreativas y, en menor medida, los alimentos contaminados también se han relacionado con la aparición de brotes. De acuerdo a la OMS (2006), se han notificado hasta 88 000 quistes por litro en aguas residuales sin tratar y hasta 240 por litro en aguas superficiales. Los quistes son resistentes y pueden sobrevivir durante semanas o meses en agua dulce. La OMS (2006) menciona que se ha confirmado la presencia de quistes en fuentes de agua natural y en sistemas de abastecimiento de agua de consumo. Sin embargo, no se dispone de información acerca de la presencia de especies infecciosas para el ser humano, ya que las técnicas convencionales de análisis disponibles en la actualidad proporcionan una medida indirecta de la viabilidad de los microorganismos, pero no de su infectividad para el ser humano. También se han detectado quistes en aguas recreativas y en alimentos contaminados. Dada la resistencia de los quistes a los desinfectantes, no se puede confiar en el análisis de <i>E. coli</i> (o bien de coliformes termotolerantes) como índice de la presencia o ausencia de <i>Giardia</i> en sistemas de abastecimiento de agua de consumo. Los síntomas suelen incluir diarrea y cólicos; sin embargo, en casos graves pueden aparecer trastornos de hipoabsorción, principalmente en niños de corta edad. La giardiasis es una enfermedad de resolución espontánea en la mayoría de los casos, aunque en algunos pacientes puede hacerse crónica, llegando a durar más de un año, incluso en personas anteriormente sanas.</p>
<p><i>Fiebre tifoidea</i></p>	<p>La fiebre tifoidea es una infección sistémica causada por <i>Salmonella enteritica</i> serovar <i>typhi</i> (<i>S. typhi</i>), la causa más común de fiebre entérica, que también incluye a la fiebre paratifoidea, ocasionada por <i>S. paratyphi</i> A, B y C. La fiebre tifoidea es una enfermedad más grave que la paratifoidea y puede incluso causar la muerte. La vía de transmisión es a través de agua o alimentos contaminados con orina o heces de un enfermo o portador. La infección por especies tifoideas se asocia con el consumo de agua o alimentos contaminados, siendo poco frecuente la transmisión directa entre personas. Los brotes de fiebre tifoidea transmitida por el agua tienen consecuencias devastadoras para la salud pública. Por otra parte, existen especies de <i>Salmonella</i> no tifoideas, las cuales a pesar de su amplia distribución, es raro que las causen brotes transmitidos por el agua de consumo, sin embargo, su transmisión está asociada con el consumo de aguas subterráneas y superficiales contaminadas. La fiebre tifoidea se inicia con malestar general, debilidad, pérdida de apetito, dolor de cabeza y estreñimiento. Se mantienen durante unos cinco días, hasta que se inicia el periodo febril con cuarenta grados centígrados. Se deteriora el nivel de conciencia del enfermo, estado conocido como estupor y aparecen lesiones rojas en la piel que pueden permanecer durante 14 días. La evolución puede ser hacia la curación o complicarse con lesiones cardíacas severas, hemorragias gastrointestinales que pueden llegar a la perforación intestinal, alteraciones neurológicas importantes o cronificar la infección, dando lugar al estado de portador.</p>

<p><i>Otras infecciones intestinales debidas a protozoarios</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Balantidiasis disentería balantídica • Criptosporidiosis Infección por <i>Cryptosporidium</i> • Isosporiasis Coccidiosis intestinal Infección debida a <i>Isospora belli</i> e <i>Isospora hominis</i> Isosporosis • Otras enfermedades intestinales especificadas debidas a protozoarios Sarcocistosis Sarcosporidiosis Tricomoniasis intestinal • Enfermedad intestinal debida a protozoarios, no especificada Diarrea por flagelados <p>Colitis, diarrea y disentería por protozoarios.</p>
<p><i>Leptospirosis</i></p>	<p>La leptospirosis es causada por el patógeno <i>Leptospira spp.</i> La infección humana se produce a través del contacto directo con la orina de animales infectados o por contacto con un entorno de orina contaminada, tal como agua de superficie, del suelo y las plantas. Los microorganismos causales se han encontrado en una variedad tanto de los animales salvajes y domésticos, incluyendo roedores, insectívoros, perros, vacas, borregos, cerdos y caballos. Las leptospiras pueden entrar a través de cortes y abrasiones en la piel ya través de las membranas mucosas de los ojos, la nariz y la boca. La transmisión de persona a persona se produce sólo en raras ocasiones. Sin embargo, también existe el riesgo de contagio a través de la ingesta de agua o alimentos contaminados. También nadar o vadear en aguas contaminadas representa un peligro de contagio. En la naturaleza, las leptospiras pueden sobrevivir bastante tiempo en el agua o en ambientes húmedos y templados, siempre que el pH sea neutro o ligeramente alcalino. La leptospirosis se manifiesta en principio como un cuadro gripal con fiebre, dolor de cabeza, dolores musculares y malestar general. Luego se puede presentar una segunda fase de mayor gravedad.</p>

Fuente: Menchaca y Alvarado, 2010; Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, ABCC.

5.3 Descripción de la zona de estudio

1. Localización

La microcuenca del río Pixquiac se ubica aproximadamente entre las coordenadas 19°33'35" y 19°26'05" de latitud norte y 96°54'39" y 97°08'45" de longitud oeste, dentro del estado de Veracruz, México. Nace en la vertiente nororiental del sistema montañoso volcánico del Cofre de Perote, a una altura de 3, 760 m.s.n.m. y se une a los 1,030 m.s.n.m con el río Sordo (Pérez, 2011).

De acuerdo a la carta hidrológica superficial del INEGI, la microcuenca del río Pixquiac, pertenece a la Cuenca del Río la Antigua, ubicada en la zona centro del estado de Veracruz. La microcuenca nace en la vertiente nororiental del sistema montañoso volcánico del Cofre de Perote a una altura de 3 760 msnm, en las coordenadas geográficas 19° 30' 36" de latitud norte y 97° 08' 51.6" de longitud oeste, se une a los 1 300 msnm con el río Sordo. La vegetación predominante en esta zona es el bosque

mesófilo de montaña, caracterizado por ser uno de los tipos de vegetación más diversos.

Los principales ríos de la microcuenca del Pixquiac son: el mismo Pixquiac (corriente principal), Huichila, Agüita Fría, Xocoyolapan y Atopa. La población de la microcuenca es de 10 603 habitantes y tiene una superficie de 10 727 hectáreas, donde escurren 213 ríos (25 perennes y 188 intermitentes) a través del territorio en los municipios de Perote, Las Vigas de Ramírez, Coatepec, Acajete y Tlalnelhuayocan (Menchaca y Alvarado, 2011).

La microcuenca abarca los municipios de Las Vigas, Perote, Acajete, Tlalnelhuayocan y Coatepec con aproximadamente 58 núcleos de población de tipo rural (con menos de 2 500 habitantes) cuya población total asciende a 9 653 habitantes distribuidos en 2 414 viviendas. Del total de las viviendas en esta región, 18.14% no disponen de agua, 4.27% carecen de servicios sanitarios y 16.23% no cuentan con drenaje conectado a la red pública (INEGI, 2010). Existen dos plantas tratadoras de aguas residuales de tipo industrial que pertenecen a las empresas

Nestlé México y Panamco Golfo, las cuales tratan 914.5 mil m³/año; cifra que representa sólo 2.81% del agua total utilizada en esta área (CMAS, 2010) citado en Menchaca *et al.* (2014).

2. Características de la microcuenca del río Pixquiac

La cuenca tiene una superficie aproximada de 10,730 ha y una longitud de 30.27 km entre sus extremos. La zona alta de la microcuenca incluye 908 ha del Parque Nacional Cofre Perote. En el área que abarca la microcuenca del río Pixquiac, que en náhuatl significa *Cosecha de agua*, la presencia del recurso agua, así como tierras fértiles y proveedoras de materiales e insumos ha sido significativa para el desarrollo de los municipios de Coatepec y Xalapa. Si bien la ciudad de Xalapa, no forma parte de la microcuenca, ésta, es uno de los principales beneficiados con los servicios ambientales hídricos de la microcuenca (Vidriales, 2012).

El mismo autor (2012), menciona que una de las principales características de dicha microcuenca, es que

presenta una variación altitudinal desde los 1,040 msnm en la parte Este, en la confluencia del río Pixquiac con el río Sordo, hasta los 3,760 msnm al Oeste, en la ladera del Cofre de Perote. Lo anterior es un indicador de la variabilidad de condiciones topográficas y climáticas que definen a esta región, y que resulta en una alta diversidad ecológica con diferentes tipos de vegetación y fauna, y en consecuencia de usos del suelo asociados.

Otra característica fundamental es la constitución geológica de la microcuenca, preponderadamente volcánica y con escasas vascularizaciones (elevación de rocas por presión) de caliza en la zona baja. Las rocas predominantes son andesitas, toba básica y brecha volcánica intermedia, las cuales resisten de manera diferencial los procesos de erosión. La mayor parte de la microcuenca está cubierta por suelos de tipo Andosol, cuya presencia se asocia con materiales volcánicos, los que se caracterizan por su amplio potencial para retener la humedad: “los andosoles son capaces de contener hasta 150% más agua que su peso, pero si se alteran, destruyen y se secan, pierden irreversiblemente esta capacidad para guardar agua” (Linera, 2007), citado en Vidriales (2012).

La localización de la microcuenca del río Pixquiac en la ladera barlovento del volcán Cofre de Perote le confiere condiciones particulares en cuanto a su funcionamiento hidrológico, ya que se encuentra expuesta a los vientos alisios cargados de humedad

provenientes del Golfo de México. Este fenómeno meridional juega un papel muy importante en el aporte de humedad y en la regulación térmica del paisaje, además de promover los procesos de erosión bioclimática que modelan de manera diferencial el relieve (Vidriales, 2012). De acuerdo con Manson (2007), los climas que se registran en la zona son: semicálido, templado húmedo y templado semifrío.

Vale la pena destacar, que la microcuenca del río Pixquiac forma parte de la cuenca del río La Antigua, y una de sus principales corrientes de agua es el río Pixquiac, del cual se deslindan importantes ríos tributarios como son: Huichila, Agüita Fría, Xocoyolapan y Atopa (Manson, 2007). En cuanto a la vegetación, la flora predominante en esta zona es: cafetales de sombra, bosque mesófilo de montaña, pino-encino y coníferas en la parte más alta, a grosso modo se puede decir que la superficie con cubierta forestal alcanza cerca del 70%, siendo sólo el 30% dedicado a actividades agropecuarias o vivienda. Esta microcuenca abastece el 38.5% de agua para las necesidades diarias de la ciudad de Xalapa, además de abastecer parte del consumo del municipio y ciudad de Coatepec y de los propios habitantes de la cuenca (OABCC, 2007).

Para su estudio, la cuenca ha sido dividida en tres zonas: alta, media y baja (OABCC, 2007). En la zona alta las principales actividades que se desarrollan son la agricultura, cabe señalar que esta producción es para el autoconsumo de los habitantes de las comunidades aledañas a la región. En la Zona media y alta se lleva a cabo la actividad pecuaria, agrícola y acuícola tanto para el autoconsumo como para el comercio,

por su parte, la actividad industrial se desarrolla únicamente en la zona baja (Menchaca y Alvarado 2011).

Lo anterior, refleja que las diversas actividades que desempeñan los usuarios del agua en la microcuenca del río Pixquiac, tienen impactos de carácter adverso, pues afectan los servicios ambientales de los ecosistemas, dichos impactos pueden presentarse en diferente escala de intensidad y espacialidad, es decir, el carácter y la magnitud del impacto y su alcance, ya sea regional o local, así como también son muy diversos respecto a su temporalidad, si es a corto o mediano plazo, o incluso permanente.

Considerando la estratificación de la microcuenca antes mencionada, el uso de suelo en la microcuenca para la zona alta, corresponde a plantaciones de árboles de pino (*Pinus* sp.) y ciprés (*Cupressus* sp.), pastizales inducidos (2400-3000 msnm), y cultivos agrícolas de temporal, principalmente la papa. En la zona media se encuentra el pastizal cultivado, cultivos agrícolas anuales, huertos de arbustos, así como plantaciones de especies maderables de pino y ciprés. Finalmente en la zona baja, el uso predominante corresponde al cafetal de sombra con dosel de especies del bosque tropical caducifolio y del bosque mesófilo de montaña (1040-1400 msnm), también predominan los cañaverales (1040-1500 msnm), las plantaciones de especies maderables de pino y ciprés y otros cultivos como los huertos de macadamia (*Macadamia integrifolia*) (Vidriales, 2012).

En esta microcuenca se presenta también una gran diversidad de condiciones socioeconómicas contrastantes, por ejemplo, se encuentran localidades aisladas, con alto grado de marginación, caracterizadas en muchos casos por el uso inadecuado de sus recursos naturales y por la falta de opciones productivas sustentables. Éstas conviven con zonas de rápido desarrollo urbano favorecidas por los bienes y servicios ambientales que aportan las zonas rurales (como es el abastecimiento de agua y el paisaje) y que generan importantes impactos al medio ambiente, entre los que destacan la contaminación del agua que se vierte cuenca abajo y la extracción de recursos naturales (Vidriales, 2012).

En la Tabla 5.5, se pueden observar las 58 localidades ubicadas en las tres zonas de la microcuenca, el municipio al que pertenecen y el número de habitantes de acuerdo al último censo poblacional, llevado a cabo en el año 2010. Además se muestra el tipo de marginación según CONAPO, como se puede ver, algunas de las localidades no cuentan con la información de marginación, esto puede deberse a que el número de habitantes en dichas localidades es tan irrisorio, que ésta no puede ser determinada. En la Figura 5.2, se muestra el mapa donde se ubican los núcleos rurales de población en las tres zonas de la microcuenca.

Tabla 5.5 Localidades de la microcuenca de estudio.

Zona	Municipio	Localidad	Población total 2010	Marginación
Alta	Acajete	Cuesta del vaquero	40	Muy alto
	Acajete	El caño	23	Alto
	Coatepec	Mesa del laurel	114	Medio
	Acajete	Tierra prieta	47	Muy alto
	Coatepec	Ingenio del rosario	228	Alto
	Acajete	La ciénega del Venado	5	-
	Acajete	Loma del muerto	3	-
Total			460	
Media	Acajete	Colecta	24	Muy alto
	Coatepec	Tierra grande	62	Muy alto
	Acajete	El saucal	76	Alto
	Acajete	Chorro de la mula	22	Alto
	Acajete	Palo blanco	24	Muy alto
	Acajete	El Zapotal	143	Alto
	Acajete	El Juzgadillo	57	Muy alto
	Acajete	Loma Tejamanil	29	Muy alto
	Acajete	Vega de Pixquiác	42	Muy alto
	Acajete	El mirador	36	Alto
	Acajete	Mesa de la Yerba	398	Alto
	Acajete	Pueblo Viejo	1	-
	Acajete	El encinal 2	132	Alto
	Acajete	El Cargadero	1	-
			1047	
Baja	Tlalnahuayocan	Potreros	4	-
	Tlalnahuayocan	Rancho Kalimba	5	-
	Coatepec	La Pedrera	23	Medio
	Tlalnahuayocan	El Timbre	12	Alto
	Coatepec	Tixtla	26	Alto
	Tlalnahuayocan	Plan de Mesa Chica	157	Alto
	Coatepec	El Atorón	48	Alto
	Coatepec	San Jacinto	199	Medio
	Coatepec	Segunda del Cedro	24	Alto
	Coatepec	Bola de Oro	10	Alto
	Coatepec	Plan de la Cruz	134	Bajo

Tlalnahuayocan	Los Capulines	153	Alto
Tlalnahuayocan	Chilacayotes	43	Alto
Coatepec	Entrada a la orduña	27	Medio
Coatepec	Consolapan	462	Medio
Tlalnahuayocan	Rancho Viejo	885	Alto
Coatepec	Chopantla	158	alto
Coatepec	La Pitahaya (Congregación Zoncuantla)	389	Muy bajo
Coatepec	Colonia 6 de enero	333	Muy bajo
Coatepec	El Grande	955	Medio
Coatepec	Mariano Escobedo	561	Bajo
Coatepec	Cuauhtémoc	725	Alto
Coatepec	Cinco Palos	683	Alto
Coatepec	La Herradura	138	Medio
Coatepec	La Orduña	1588	Bajo
Coatepec	El Cedro	27	Alto
Coatepec	Benito Juarez	138	Alto
Coatepec	Puente Seco	37	Medio
Tlalnahuayocan	Rancho 2 y 2	1	-
Tlalnahuayocan	Agüita fría	10	Muy bajo
Tlalnahuayocan	Rancho Ololiuhqui	17	Alto
Tlalnahuayocan	Rancho Calihuayan	2	-
Tlalnahuayocan	El Naranja	23	Alto
Tlalnahuayocan	Tejocotal	130	Alto
Coatepec	Los Pasos	6	-
Coatepec	El Vigía	4	-
Coatepec	Rancho las Minas	9	-
		8146	
Total		9653 habitantes	

Fuente: Menchaca y Pérez, 2011; Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, ABCC.

5.4 Ubicación de los sitios de muestreo para la calidad del agua y unidades médicas de salud

La presente investigación es de tipo explorativo-descriptivo, y el muestreo fue propositivo, no aleatorio. De todos los sitios de muestreo establecidos por CMAS-Xalapa, se seleccionaron únicamente los cinco que se ubican en la microcuenca del río Pixquiac (ver tabla 5.6).

Para determinar la ubicación exacta de los cinco sitios de muestreo, fue necesario trasladarse a los lugares donde es tomada la muestra, una vez ahí, se utilizó un GPS para obtener las coordenadas de cada uno de los sitios. Se presenta en la Figura 5.2 el mapa de la microcuenca con la ubicación de los cinco sitios de muestreo.

Con respecto a las unidades médicas de salud, se obtuvo la dirección de éstas, a partir de la página oficial de la SSV. Después, se utilizó el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas del INEGI, para localizar las unidades, o bien buscar las coordenadas exactas manualmente con base a las direcciones obtenidas de la

SSV, utilizando el programa Google Maps. De esta manera fueron ubicadas en el mapa de la microcuenca, y se muestran en la Figura 5.3.

Tabla 5.6 Sitios de muestreo.

Zona alta	Zona media	Zona baja
Cofre de Perote	Agua Fría	Cinco Palos
	Medio Pixquiac	Socoyolapan

Fuente: Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, ABCC.

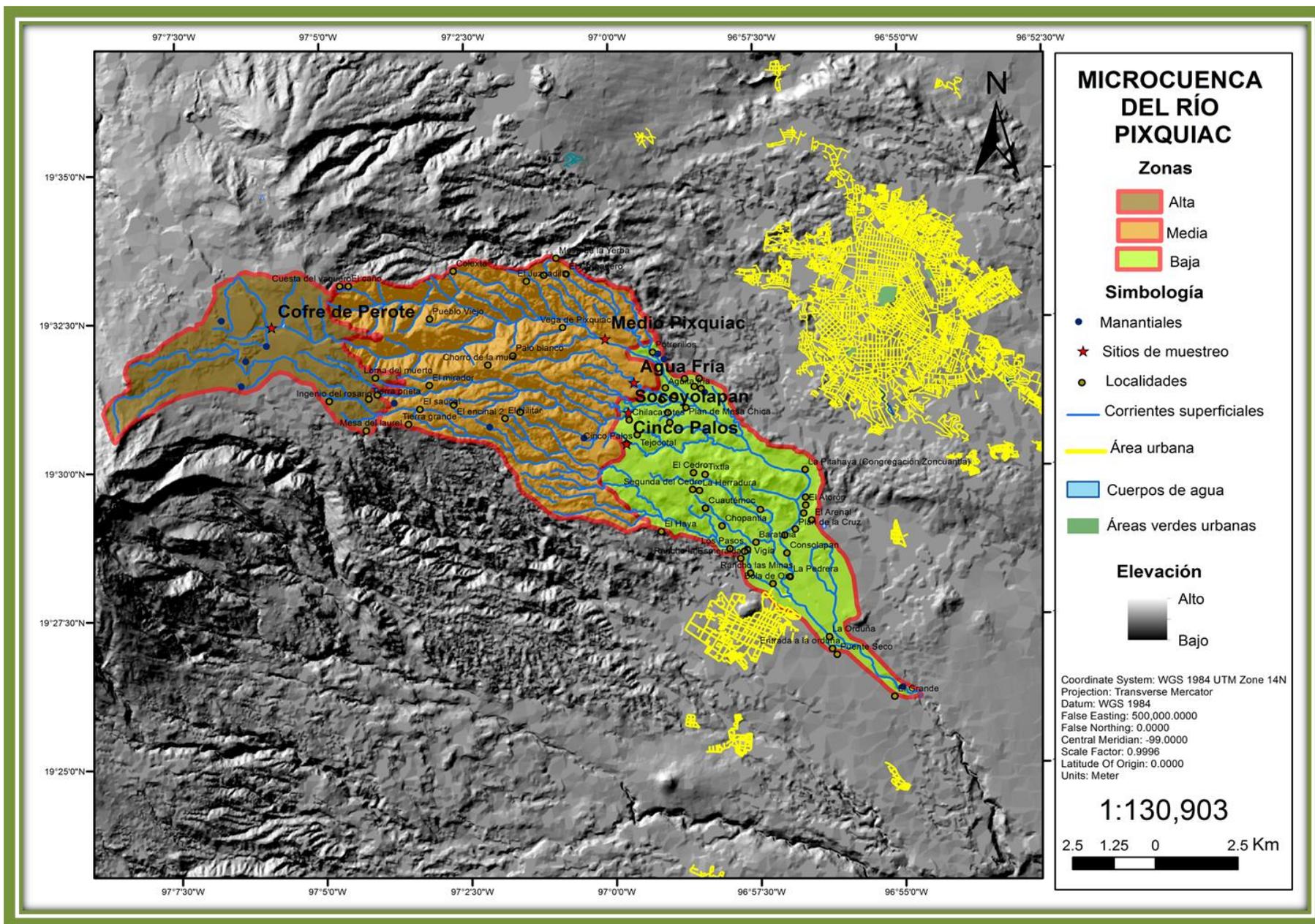


Figura 5.2 Ubicación de los sitios de muestreo. *Fuente:* Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

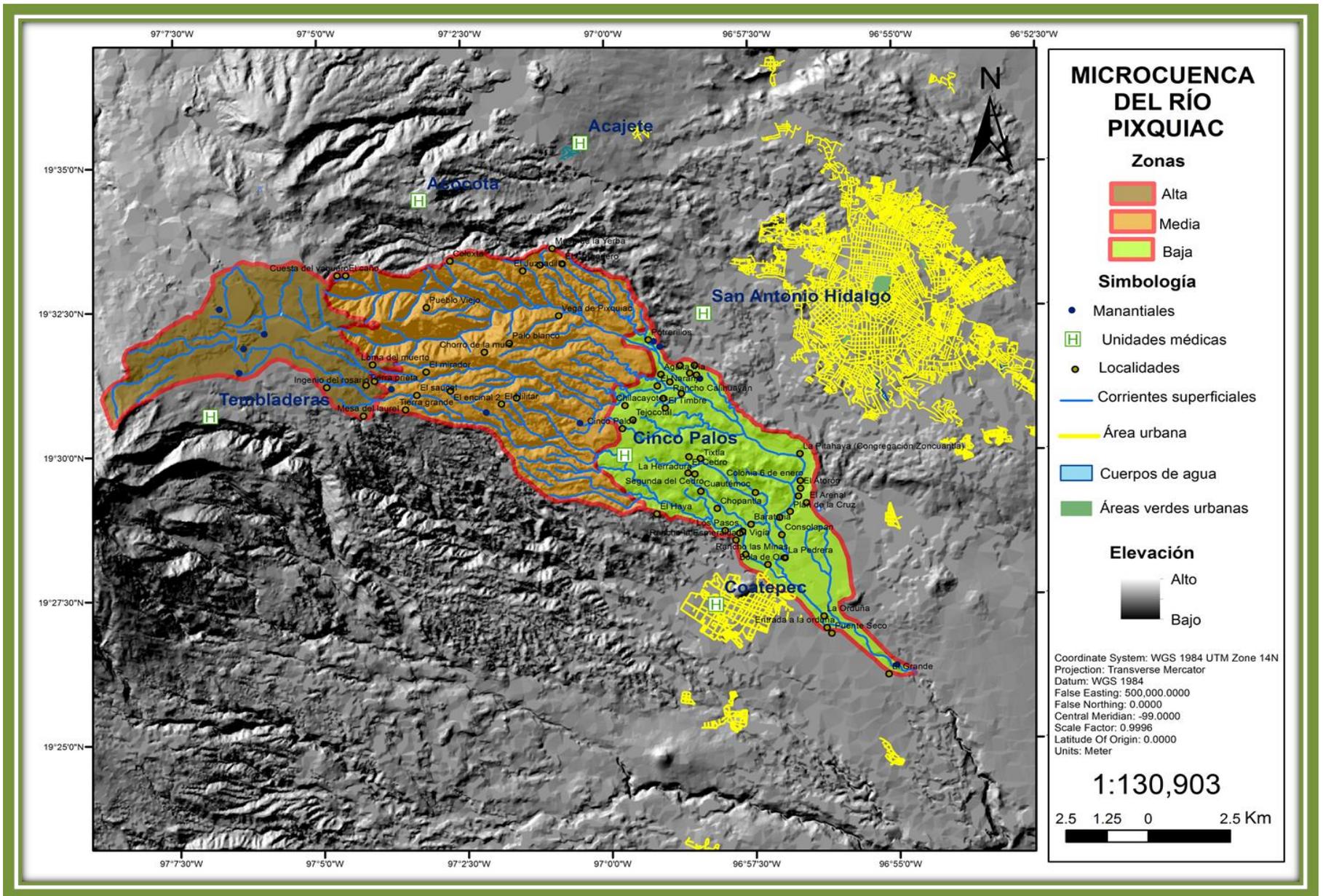


Figura 5.3 Ubicación de las unidades médicas. **Fuente:** Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

5.5 Instrumentos y procedimiento estadístico

1. Factor antrópico

Para la obtención de los resultados del factor antrópico, se determinaron cuáles son las principales actividades antropogénicas que afectan la calidad del agua superficial para consumo humano, y que a su vez perjudican a otros servicios ambientales de bosques y cuencas hidrológicas. Los datos fueron organizados en una matriz, la cual se muestra en el capítulo de resultados y análisis.

Posteriormente, se disgregaron los datos para analizar dicho factor en cada una de las zonas en las que fue dividida la microcuenca de estudio. De esta manera, se determina que en la microcuenca del río Pixquiac son las actividades agrícola, pecuaria, forestal, acuícola, doméstica e industrial las que presentan grandes impactos sobre la calidad del agua superficial, de las cuales, se deslindan actividades específicas, que presentan gran influencia en la contaminación de cuerpos naturales de agua. Los impactos

fueron cuantificados, identificándose un total de 222 impactos con distinta escala de importancia: incidido (1), perturbado (2) y degradado (3), cabe destacar que la mayoría de los impactos registrados son de tipo perturbado, lo cual es alarmante, ya que los ecosistemas debido a la sinergia de los impactos, podrían pasar al estado degradado, impidiendo la recuperación del ecosistema por sí mismo (Menchaca *et al.*, 2014).

1.1 Análisis estadístico del factor antrópico

Los resultados expresados en la base de datos de calidad del agua, se incorporaron al programa *Statistica 7.0*, para obtener el número total de muestras, los datos faltantes, los valores mínimos y máximos, la media aritmética, la desviación estándar y la mediana, para cada uno de los indicadores, en las tres zonas de la microcuenca. Para la elaboración de gráficos se utilizaron cajas de alambre, y posteriormente se procedió a realizar las comparaciones de los indicadores por zonas, por estaciones y por años.

2. Calidad del agua

Después de analizar las actividades antropogénicas que generan impactos sobre los servicios ambientales de bosques y cuencas hidrológicas, en la microcuenca del río Pixquiatic, se procedió con el análisis de la primera variable dependiente, la cual es la calidad del agua. Cabe destacar, que la información obtenida a través de CMAS-Xalapa, presenta datos faltantes, debido a que hubo muestreos que no fueron realizados. En la Figura 5.4, se presenta el número de muestreos que se realizaron para cada uno de los indicadores en las respectivas zonas de la microcuenca.

Cabe señalar, que de acuerdo a la periodicidad de los muestreos, durante los 8 años deberían tenerse un total de 160 muestras para cada uno de los indicadores, de las cuales, 128 corresponden a las zonas media y baja, es decir, 64 para cada una de éstas, pues a dichas zonas pertenecen dos sitios de muestreo cada una, y 32 para la zona alta, a la cual corresponde únicamente un sitio de muestreo. Ahora bien, debe notarse que los indicadores de los cuales se realizó el mayor número de muestras, fueron nitratos,

coliformes totales y coliformes fecales, por lo contrario, plomo, cadmio y fosfatos presentan el menor número de muestreos realizados.

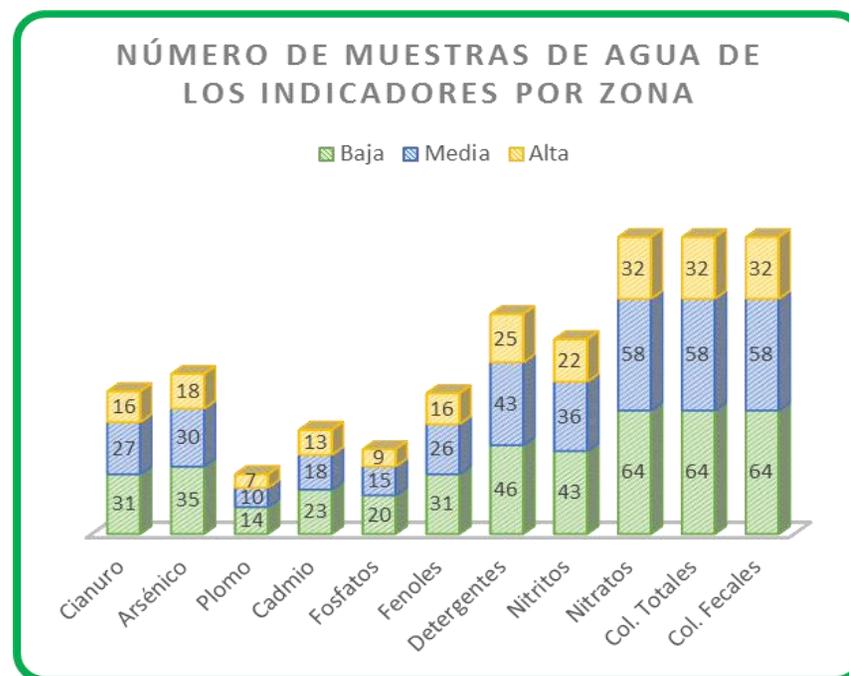


Figura 5.4 Número de muestras de agua de los indicadores por zona.

Fuente: Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

Los datos correspondientes a cada uno de los indicadores, como son el número de muestras por cada uno de ellos (n), los datos faltantes, la media aritmética, los

valores mínimos y máximos, desviación estándar y la mediana, se muestran en la Tabla 5.7. Se observa también, dos columnas con los encabezados de 25% y 75%, las cuales representan el primer y tercer cuartil respectivamente, de las cajas de alambre, es decir, el 25% y 75% de los datos. En el Anexo 1, se muestran los mismos datos pero para cada una de las zonas de la microcuenca.

Las cajas de alambre fueron utilizadas para representar las concentraciones de los indicadores de calidad del agua. Estas cajas son una presentación visual que describe al mismo tiempo varias características importantes de un conjunto de datos, tales como el centro (mediana), la dispersión, la simetría o asimetría y la identificación de observaciones atípicas, es decir, valores que se encuentren alejados del rango intercuartílico. Las cajas de alambre se componen de un rectángulo que representa el 50% de los datos que particularmente están ubicados en la zona central de la distribución. De ambas aristas del rectángulo se extiende una línea o *bigote*, que va hacia los valores extremos, es decir, valor mínimo y máximo. Los valores atípicos están representados por un círculo y

son denominados *outliers*, mientras que los valores atípicos extremos, aquellos demasiado alejados del rango intercuartílico, son representados con un asterisco y se denominan *extremos*.

Como ya se mencionó, los once indicadores de calidad del agua seleccionados, se clasificaron en características químicas: cianuro, fosfatos, fenoles, detergentes, nitritos y nitratos; metales pesados: arsénico, plomo y cadmio; y características bacteriológicas: coliformes totales y coliformes fecales.

Para el análisis de dichos indicadores, se elaboraron tres gráficos para cada uno de éstos. El primer gráfico (gráfico A), muestra de manera general las concentraciones de los indicadores para cada una de las zonas, lo que permite hacer una comparación entre éstas, además, este gráfico señala los límites máximos permisibles de acuerdo a la normatividad mencionada en el marco teórico.

Tabla 5.7 Distribución de los datos de los indicadores de calidad del agua

Indicador	n	Faltantes	Media	Mínimo	Máximo	25%	75%	Desv. Est.	Mediana
Cianuro	74	86	0.00456	0.002	0.02	0.002	0.005	0.00356	0.003
Arsénico	83	77	0.0195	0.01	0.2	0.01	0.02	0.0207	0.02
Plomo	31	129	0.0222	0	0.1	0.01	0.0145	0.0311	0.01
Cadmio	54	106	0.0256	0.001	0.031	0.002	0.01	0.136	0.002
Fosfatos	44	116	0.159	0.01	0.33	0.16	0.21	0.0822	0.175
Fenoles	73	88	0.0338	0	0.11	0.02	0.046	0.0176	0.03
Detergentes	114	46	0.166	0	0.603	0.106	0.149	0.142	0.138
Nitritos	101	59	0.0119	0	0.24	0.002	0.00662	0.0285	0.0034
Nitratos	154	6	0.634	0	9.38	0.223	0.54	1.111	0.37
Col. Totales	154	6	125.974	0	2400	4	93	343.119	21
Col. Fecales	154	6	31.909	0	460	0	21	74.616	8

Para dichos límites, se trazaron líneas horizontales que marcan las concentraciones que no deben ser excedidas de acuerdo a la normatividad. Los criterios ecológicos son representados con una línea azul, la Nom-127 color rojo y la OMS con el color verde. Cabe destacar que en ocasiones, dos de las normas coinciden en un mismo valor, en estos casos, únicamente se traza una sola línea que puede ser de cualquiera de los dos colores. El segundo gráfico (gráfico B), presenta el comportamiento de los indicadores tomando en cuenta las temporadas de estiaje y lluvias, considerando las cuatro estaciones del año; se tiene entonces, el verano y otoño para la época de lluvias, y el invierno y primavera para la época de estiaje. De esta manera, se puede hacer una comparación entre épocas y/o estaciones, y entre las tres zonas de la microcuenca.

Debe señalarse, que las cajas de alambre fueron utilizadas únicamente para los gráficos A y B, así mismo, el gráfico A, es el único que contempla todos los valores registrados en los ocho años y los cinco sitios de muestreo, pues tiene como fin dar a conocer en su totalidad las

concentraciones registradas y determinar si éstas rebasan o no, los límites máximos permisibles. De tal manera, que de los gráficos B y C fueron excluidos los valores extremos, con la finalidad de que dichos gráficos, presenten su objetivo principal que es la tendencia de acuerdo a la época y/o estación y, a través de los años (temporal), respectivamente; puesto que los extremos al ser valores fuera de rango impedían observar claramente el comportamiento de los datos de acuerdo al objetivo de cada gráfico, además de que no eran estéticamente presentables.

Finalmente, al tercer gráfico (gráfico C) corresponde el análisis temporal, es decir, cómo han fluctuado las concentraciones a través del tiempo durante los años 2005 al 2008, lo que permite dar cuenta si se ha incrementado o disminuido la presencia de sustancias Químicas, metales pesados y microorganismos coliformes. Estos gráficos están representados por la desviación estándar, donde se presentan el valor mínimo, la mediana y el valor máximo.

3. Salud

Se utilizó la base de datos de salud, con información proporcionada por Secretaría de Salud del Estado de Veracruz. Para la obtención de resultados de salud, se analizan las enfermedades con mayor prevalencia y durante que años se presentó mayor morbilidad. Así pues, se presentan a continuación, las enfermedades seleccionadas de acuerdo a los criterios mencionados anteriormente:

- Infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas
- Ascariasis
- Amebiasis intestinal
- Otras helmintiasis
- Paratifoidea y otras salmonelosis

- Hepatitis aguda tipo A
- Giardiasis
- Fiebre tifoidea
- Otras infecciones intestinales debidas a protozoarios
- Leptospirosis

La morbilidad de la cual se tiene registro y que está relacionada con el agua, es causada en su totalidad por microorganismos. De acuerdo a la Secretaría de Salud del estado de Veracruz, no se tiene registro de padecimientos que sean generados por la ingesta de sustancias químicas, por ejemplo, arsenicosis, fluorosis, intoxicación por plomo, u otras sustancias. Sin embargo, no debe descartarse la posibilidad del surgimiento de algunos padecimientos relacionados con dichas sustancias, especialmente arsénico, cadmio, plomo y fosfatos, pues éstos pudiesen representar un riesgo latente para los habitantes de la microcuenca, ya que se han registrado altos niveles en las

concentraciones de estas sustancias, y que de acuerdo a la OMS, pueden ocasionar daños a la salud si se consumen los recursos hídricos con cantidades que sobrepasan los límites permisibles, durante prolongados periodos de tiempo.

De esta manera, se analizan los resultados los cuales se pretende sean relevantes para el ámbito académico y social, y así mismo, sean tomados en cuenta para la toma de decisiones por parte de los organismos gubernamentales.

5.6 Resultados, conclusiones y recomendaciones

Los resultados de las tres variables analizadas se muestran en el siguiente capítulo. Mediante trabajo de gabinete se establecieron las conclusiones y recomendaciones para el presente trabajo de investigación.

VI. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de las tres variables involucradas en el estudio: factor antrópico, calidad del agua y salud; las cuales se determinaron a partir de tres diferentes bases de datos del Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, ABCC (Agua, Bosques, Cuencas y Costas) del Centro de Ciencias de la Tierra-UV.

6.1 Factor antrópico

A partir de los resultados de la base de datos de factor antrópico, se determina que de los 222 impactos (ver tabla 6.1), la mayoría se concentran en las zonas media y baja, 82 y 84 impactos respectivamente. Como se verá más adelante, esto se debe a que las actividades agropecuarias y domésticas se intensifican en dichas zonas, además de que en la zona baja se desarrollan actividades industriales. Por lo contrario, en la zona alta se tienen únicamente 56

impactos, que son consecuencia de las actividades agrícolas, pecuarias, forestales y domésticas (Menchaca *et al.*, 2014). En el Gráfico 6.1 se muestra el alcance de los impactos para cada una de las zonas.

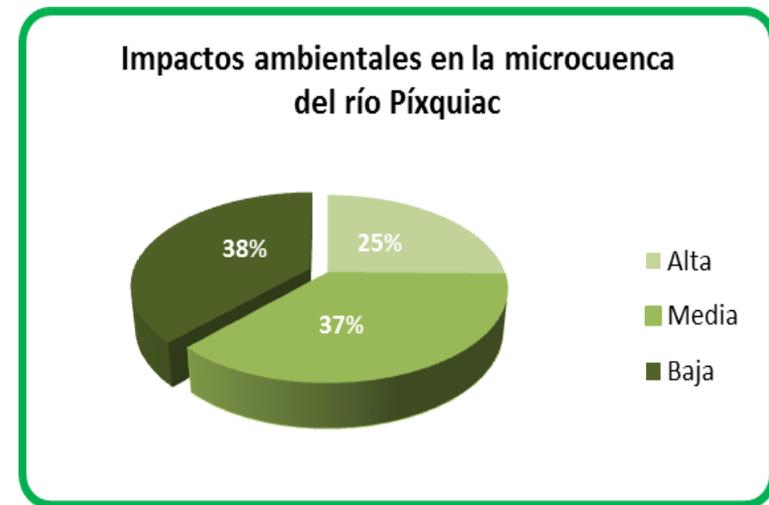


Gráfico 6.1 Impactos ambientales en la microcuenca del río Pixquiac.
Fuente: Menchaca, Alvarado y Uscanga 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

Tabla 6.1 Impactos en los servicios ambientales de cuencas y bosques de la microcuenca

Escala de importancia del impacto			Servicios ambientales de las Cuencas Hidrológicas y Bosques									Total de impactos ambientales
			Zona alta			Zona media			Zona baja			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Incidido (1): El ecosistema es capaz de recuperar sus características originales sin necesidad de la acción humana.												
Perturbado (2): El ecosistema puede recuperar sus características originales, ya sea con la intervención de acciones humanas o sin estas.												
Degradado (3): El ecosistema no puede recuperar sus características originales sin la intervención de la acción humana.												
Actividades antrópicas en la microcuenca del río Pixquiac	Agrícola	Control de insectos (uso de pesticidas)	1	5		1	5		1	1		14
		Control de pequeños roedores (con trampas y venenos)				4	1			2		7
		Control de malas hierbas (uso de herbicidas)	1	1		2			4	1		9
		Aplicación de agroquímicos	1	5	1	5	2			4	1	19
		Método de laboreo	1	3	1		4			3		12
	Pecuaria	Cría de ganado, aves o porcinos	1	1		1	3		3	4		13
		Limpieza del área donde habitan los animales	2	1		4	1		4	2		14
		Pastoreo		2			5			3		10
	Forestal	Explotación de bosques madereros		7			6	1				14
		Tala inmoderada	1	4	2		5	2				14
	Acuícola	Métodos de crianza					7		3	4		14
		Sustancias químicas utilizadas para la alimentación o enfermedades				3			3	1		7
		Modificación del patrón de corrientes					3			2	1	6
	Doméstica	Descargas de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica	5	1		2	4			5	1	18
		Descargas de grasas y aceites	5			6			5			16
		Descarga de detergentes y jabones	4			5			1	4		14
Drenaje									4	1	5	
Industrial	Descargas de aguas residuales con residuos tóxicos								1	7	8	
	Derrames y escapes								8		8	
Total			22	30	4	33	46	3	24	49	11	222

Fuente: Menchaca *et al.*, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

En relación con la escala de importancia del total de impactos en la microcuenca de estudio, pueden observarse los resultados porcentuales en el Gráfico 6.2. Se tiene que el 56% de los impactos son de tipo perturbado, lo que es poco más de la mitad. No obstante, los de tipo incidido representan también gran parte del número total, es decir, 36%, mientras que los impactos de tipo degradado, corresponden al 8%, que si bien representan la minoría, son los que mayor atención requieren, pues los ecosistemas requerirán de la intervención del hombre para recuperar sus características originales.

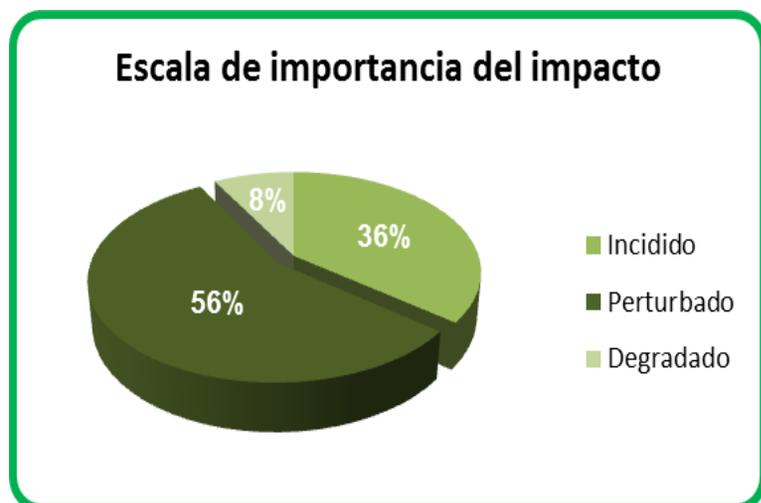


Figura 6.2 Escala de importancia del impacto. **Fuente:** Menchaca, Alvarado y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

Por otra parte, los servicios ambientales que más se ven afectados por las actividades antropogénicas, son los correspondientes a las cuencas hidrológicas, pues del total de impactos, la mayoría corresponden a los servicios ambientales de cuencas, es decir, el 59%, mientras que para los servicios de bosques se tienen el 41%, (ver gráfico 6.3). Se presenta a continuación, el análisis del factor antrópico por cada una de las zonas de la microcuenca.

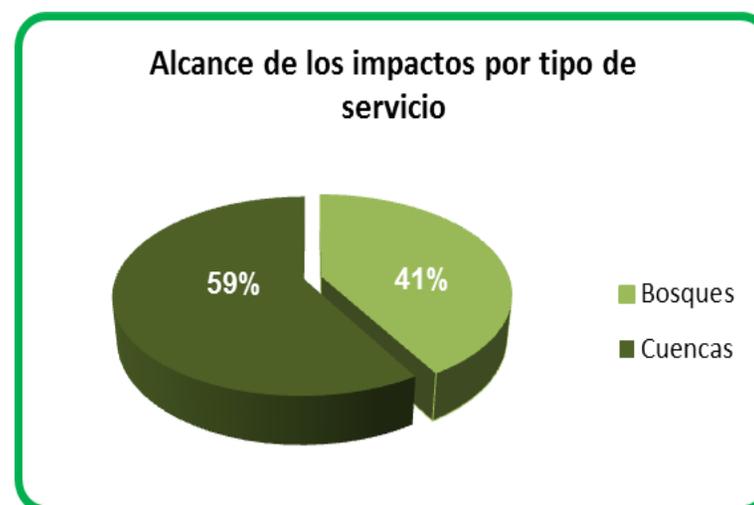


Gráfico 6.3 Alcance de los impactos por tipo de servicio. **Fuente:** Menchaca, Alvarado y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

6.1.1 Zona alta

Como se ha mencionado en el marco metodológico, la microcuenca para su estudio ha sido dividida en tres zonas: alta, media y baja. Anteriormente se comentó, que es la zona alta la que presenta el menor número de impactos ambientales, en comparación con la media y alta que presentan casi el mismo número de impactos.

De todas las actividades antropogénicas registradas, la incidencia de éstas en cada una de las zonas es muy similar, al menos las actividades agrícolas, pecuarias y domésticas, se llevan a cabo en toda la microcuenca, siendo éstas las que mayor afectan a los ecosistemas. Respecto a las actividades forestales, se desarrollan tanto en la zona alta como la media, mientras que las de acuicultura en las zonas media y baja. Únicamente la actividad industrial se lleva a cabo en la zona baja (Menchaca y Alvarado, 2011).

En la Tabla 6.2 se presentan los datos que corresponden a los impactos en la zona alta. En ésta, se

puede notar que son las actividades agrícola y doméstica las que tienen el mayor número de impactos, tan sólo la suma de ambas, representan más de la mitad del total de éstos. De hecho, la actividad agrícola simboliza la mayor afectación para la zona alta y media, ya que para la baja, pasa a ocupar el segundo lugar después de la actividad doméstica (Menchaca y Alvarado, 2011).

Es importante señalar, que desde el comienzo de la agricultura se han destruido 2.000 millones de hectáreas como consecuencia de la utilización del suelo para el cultivo (es decir, el 133% de la actual superficie agrícola mundial) y en gran proporción pertenecientes a las tierras más fértiles y más fáciles de cultivar. Además, se pierden entre cinco y siete millones de hectáreas de buenas tierras en el mundo por efecto de la erosión cuya causa en gran proporción se debe a un laboreo abusivo e irracional del suelo (COAG, 2010).

Tabla6.2 Impactos en los servicios ambientales de cuencas y bosques de la zona alta de la microcuenca del Pixquiac

Zona Alta									
Actividades antrópicas en la microcuenca del río Pixquiac		SA de las cuencas hidrológicas			SA de los bosques			Subtotal por actividad	Total por actividad
		Incidido (1)	Perturbado (2)	Degradado (3)	Incidido (1)	Perturbado (2)	Degradado (3)		
Agrícola	Control de insectos (uso de pesticidas)		3		1	2		6	20
	Control de malas hierbas (uso de herbicidas)				1	1		2	
	Aplicación de agroquímicos		3	1	1	2		7	
	Método de laboreo		1		1	2	1	5	
Pecuaria	Cría de ganado, aves o porcinos		1		1			2	7
	Limpieza del área donde habitan los animales	2				1		3	
	Pastoreo		1			1		2	
Forestal	Explotación de bosques madereros		2			5		7	14
	Tala inmoderada			2	1	4		7	
Doméstica	Descargas de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica	5				1		6	15
	Descargas de grasas y aceites	4			1			5	
	Descarga de detergentes y jabones	4						4	
Total		15	11	3	7	19	1	56	
		29			27				
		Incidido	22	Perturbado	30	Degradado	4		

Fuente: Menchaca, Alvarado y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

Lo anterior, muestra la severa problemática a la que se enfrenta la sociedad actual, pues de manera paulatina la actividad agrícola ha mermado la producción de bienes y servicios de los ecosistemas, debido a las grandes extensiones de tierra que han sido convertidas para uso agrícola. De acuerdo a Calvache *et al.* (2012), un cambio en el uso de suelo de bosque natural a zona de agricultura puede reducir el caudal base en época de sequía hasta en un 50% y aumentar los flujos pico (crecidas) hasta en un 20%.

Además, la actividad agrícola junto con la pecuaria, es decir, las actividades agropecuarias, son las que demandan un uso excesivo del recurso agua. La COAG (2010), menciona que el uso del agua por el ganado, así como la contribución del sector pecuario a su agotamiento es muy elevado. Cada vez se necesitan mayores volúmenes de agua para satisfacer las necesidades del proceso de producción ganadera, considerando todas las etapas implicadas en el proceso. En el Gráfico 6.4, se puede observar la incidencia de éstas y las demás actividades para la zona alta de la microcuenca. Se puede

ver que la actividad agrícola representa el mayor número de impactos, le sigue la de tipo doméstico, después la forestal y finalmente la actividad pecuaria.

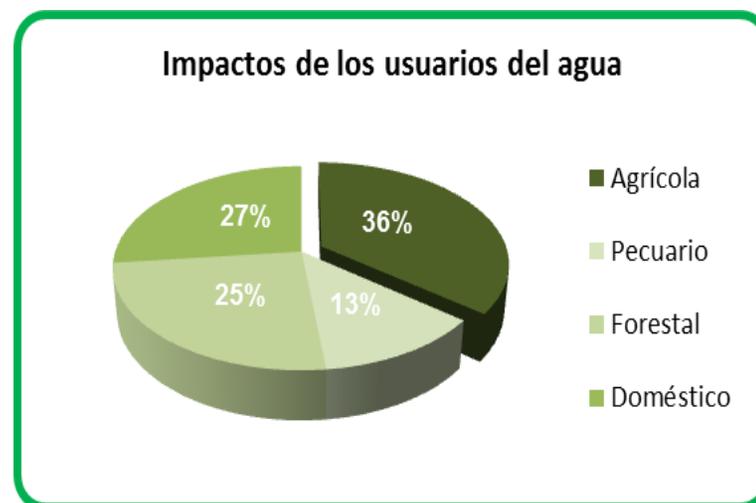


Gráfico 6.4 Usuarios del agua que impactan a los servicios ambientales en la microcuenca. *Fuente:* Menchaca, Alvarado y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

El Gráfico 6.5, representa la escala de importancia del impacto, donde se observa que la mayoría son de tipo perturbado, cabe destacar que este patrón se repite en cada una de las zonas de la microcuenca.

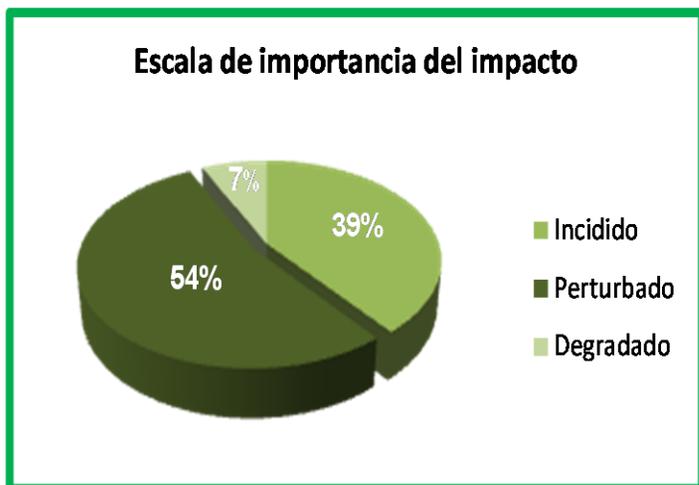


Gráfico 6.5 Escala de importancia del impacto. **Fuente:** Menchaca, Alvarado y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

Finalmente, el Gráfico 6.6, muestra las afectaciones de acuerdo a los servicios ambientales, es decir, de bosques o cuencas hidrológicas. Este gráfico presenta un comportamiento muy similar en las tres zonas, ya que en toda la microcuenca los servicios ambientales de cuencas hidrológicas se ven más amenazados por las actividades de los usuarios del agua.

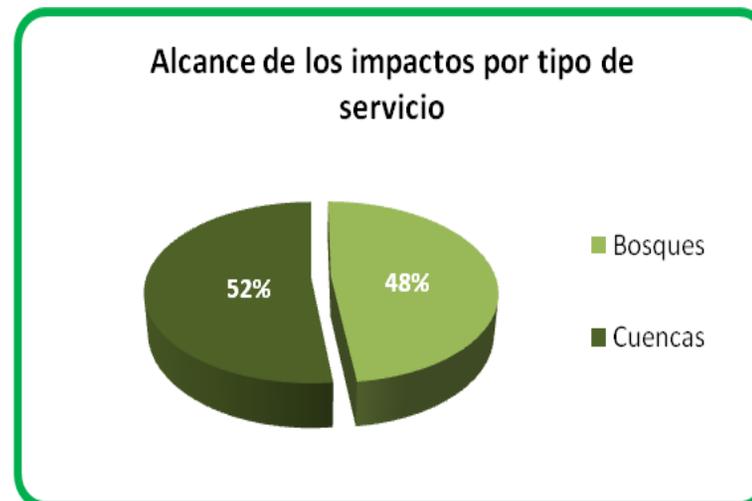


Gráfico 6.6 Alcance de los impactos por tipo de servicio. **Fuente:** Menchaca, Alvarado y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

6.1.2 Zona media

De acuerdo a los datos obtenidos a partir de las tablas de factor antrópico, a esta zona corresponden el 37% de los impactos, casi el mismo número que para la zona baja. En la zona media, se desarrollan las mismas actividades que en la zona alta, más la actividad acuícola, esto lo podemos ver en la Tabla 6.3.

Tabla 6.23 Impactos en los servicios ambientales de cuencas y bosques de la zona media de la microcuenca del Pixquiac

Zona Media									
Actividades antrópicas en la microcuenca del río Pixquiac		SA de las cuencas hidrológicas			SA de los bosques			Subtotal por actividad	Total por actividad
		Incidido (1)	Perturbado (2)	Degradado (3)	Incidido (1)	Perturbado (2)	Degradado (3)		
Agrícola	Control de insectos (uso de pesticidas)		3		1	2		6	24
	Control de pequeños roedores (con trampas y venenos)	3			1	1		5	
	Control de malas hierbas (uso de herbicidas)				2			2	
	Aplicación de agroquímicos	3	1		2	1		7	
	Método de laboreo		2			2		4	
Pecuaría	Cría de ganado, aves o porcinos		2		1	1		4	14
	Limpieza del área donde habitan los animales	3	1		1			5	
	Pastoreo		2			3		5	
Forestal	Explotación de bosques madereros		1	1		5		7	14
	Tala inmoderada		1	1		4	1	7	
Acuícola	Métodos de crianza		5			2		7	13
	Sustancias químicas utilizadas para la alimentación o enfermedades	3						3	
	Modificación del patrón de corriente		2			1		3	
Doméstica	Descargas de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica	2	3			1		6	17
	Descargas de grasas y aceites	5			1			6	
	Descarga de detergentes y jabones	4			1			5	
Total		23	23	2	10	23	1	82	
		48			34				
		Incidido	33	Perturbado	46	Degradado	3		

Fuente: Menchaca, Alvarado y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

Para esta zona el orden de las actividades de acuerdo al número de impactos es el siguiente: agrícola con el 29%, doméstica 21%, forestal y pecuaria con el 17%, por último la acuícola con 16% de los impactos (ver gráfico 6.7).

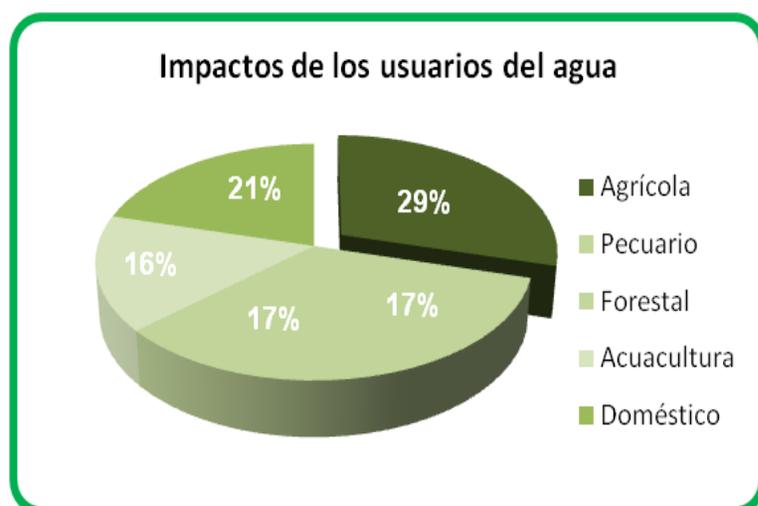


Gráfico 6.7 Usuarios del agua que impactan a los servicios ambientales en la microcuenca. **Fuente:** Menchaca, Alvarado y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

Para cada una de las zonas, se puede notar que las actividades agropecuarias son responsables de prácticamente la mitad del total de impactos, al menos en la

zona media si se suman los porcentajes de las actividades agrícolas y pecuarias, se obtiene un total del 46%. Así pues, queda como segunda responsable la actividad doméstica, la cual contribuye gravemente a la contaminación del medio ambiente.

Al respecto, la COAG (2010), argumenta que las actividades agropecuarias son unas de las numerosas causas de la degradación y contaminación de los suelos, especialmente a partir de la implantación de nuevas prácticas tendentes a conseguir un incremento de la producción. Por lo anterior, es preciso explicar que la contaminación del suelo afecta directamente a los cuerpos de agua, debido al *escurrimiento superficial* o *escorrentía*, definida por Maderey (2005), como la parte del agua que escurre sobre el suelo y después por los cauces de los ríos; así pues, el *escurrimiento subsuperficial*, es la parte del agua que se desliza a través de los horizontes superiores del suelo hacia las corrientes y el *escurrimiento subterráneo*, se lleva a cabo en los mantos subterráneos y posteriormente, por lo general, descarga a las corrientes fluviales.

Un ejemplo de lo anterior, sería la contaminación por nutrientes originada por una escorrentía cargada de fertilizantes, la cual constituye un problema grave en las regiones agrícolas, dado que causa la eutrofización de los cuerpos de agua y genera una serie de peligros para la salud humana (Aznar, 2002). De modo idéntico, la OMS (2005), menciona que la eutrofización, o sea el proceso mediante el cual el crecimiento excesivo de plantas agota el oxígeno en el agua, puede afectar negativamente otras formas de vida acuática, como por ejemplo los peces, y por lo tanto las fuentes de alimento, creando riesgos para la salud y el bienestar humanos. La OMS (2005), agrega que el exceso de escorrentía de fertilizantes hacia los lagos y cursos de agua puede trastornar el equilibrio de nutrientes en los lagos y los ríos, lo que facilita el crecimiento de ciertas algas, incluyendo algunas que son tóxicas para los seres humanos.

Por su parte Gerber y Menzi (2005), comentan que las actividades pecuarias pueden acelerar en gran medida la eutrofización incrementando la tasa de entrada de nutrientes y sustancias orgánicas a los ecosistemas.

Además, las altas concentraciones de nutrientes en el agua producen mal sabor y olor de la misma, y un excesivo crecimiento bacteriano en los sistemas de distribución. También se ha demostrado, que las altas concentraciones de nutrientes pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la temperatura y la salinidad, constituyendo un riesgo para la salud.

Dentro de las principales actividades pecuarias, destaca el pastoreo, al que se reconoce como una actividad de alto potencial contaminante debido a la cantidad de nutrientes, principalmente nitrógeno (N), y fósforo (P), transferidos al medio ambiente, tanto al aire como al agua (Jarvis, 2002), citado en Alfaro y Salazar (2005).

Se puede decir entonces, que la erosión y degradación de los suelos y la consiguiente contaminación de aguas por arrastre de sedimentos son sin duda los problemas medioambientales más importantes causados por la práctica de la actividad agropecuaria convencional.

Otra actividad más que afecta a los ecosistemas de la zona media de la microcuenca, es la forestal. Cabe destacar, que dicha actividad se desarrolla únicamente en las zonas media y alta, debido a que es en dichas regiones donde se presenta una mayor cobertura forestal, pues en la zona baja por el aumento de la población y a su vez la necesidad de desmontar tierras para uso agropecuario, se han talado severamente grandes extensiones de bosque.

La destrucción de los bosques y la conversión a plantaciones tienen externalidades ambientales significativas, tales como el aumento de la erosión del suelo, el desbalance en la regulación hídrica y la reducción de la calidad del agua, así como impactos sociales negativos sobre las comunidades locales (Lara y Veblen, 1993), citados en Oyarzún *et al.*(2005).

De acuerdo a Alvarado (2010), una de las mayores afectaciones de la actividad forestal y que afecta también a la calidad del agua es la extracción excesiva de especies maderables del bosque mesófilo de montaña y del bosque de pino-encino, así como la tala desmedida, la cual provoca

destrucción y fragmentación de los ecosistemas. En definitiva, todas estas actividades antropogénicas generan impactos adversos en los ecosistemas, los cuales para el presente estudio se han venido clasificando en incidido, perturbado y degradado (ver gráfico 6.8). También se ha presentado, cuáles de los servicios ambientales se ven más afectados por dichas actividades (ver gráfico 6.9).

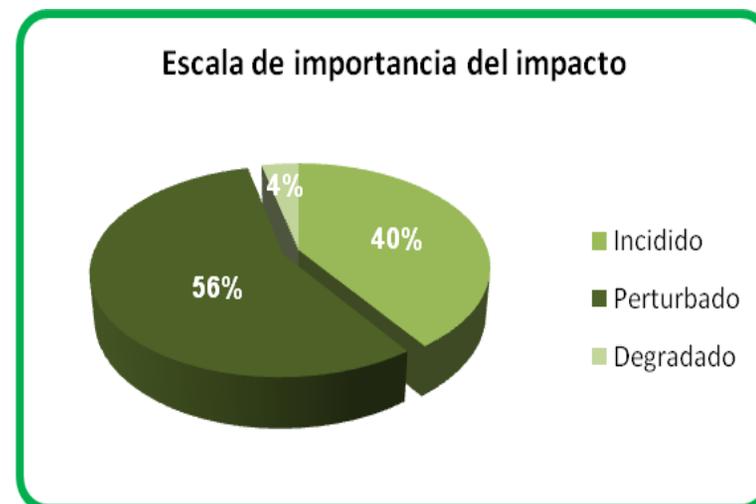


Figura 6.8 Escala de importancia del impacto. **Fuente:** Menchaca, Alvarado y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

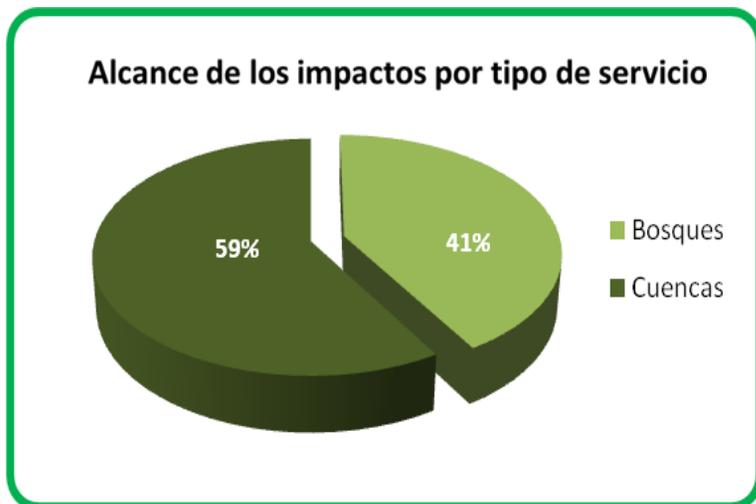


Gráfico 6.9 Alcance de los impactos por tipo de servicio. **Fuente:** Menchaca, Alvarado y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

6.1.3 Zona baja

A esta zona, corresponden la mayor cantidad de impactos, lo cual puede deberse al alto número de habitantes, por lo que se han tenido que devastar hectáreas de ecosistemas para solventar las necesidades básicas del hombre. Además, se presenta una significativa contaminación de los cuerpos de agua, pues desde la zona alta de la microcuenca se han alterado las características naturales

de los recursos hídricos, es decir, existe contaminación difusa (ver tabla 6.4). Hasta hace algunos años, el foco mundial de atención en relación a la contaminación de cursos de agua era su contaminación directa o puntual, sin embargo, en la actualidad existe una creciente preocupación por la contaminación difusa, principalmente desde predios agrícolas. La contaminación difusa se refiere a la introducción de contaminantes a un curso de agua superficial o subterráneo, a través de vías indirectas y desde fuentes que no es posible establecer con exactitud y puntualmente, siendo muy difícil encontrar a los responsables directos (Jarvis, 2002), citado en Alfaro y Salazar (2005). De esta manera, dicha contaminación puede ser continua o intermitente, siendo esta última más común debido a que está relacionada a actividades estacionales propias de la agricultura, como la época de fertilización o fenómenos ocasionales como altas precipitaciones, que terminan provocando pérdidas de nutrientes por lixiviación y arrastre. Esto la hace difícil de controlar y regular, a diferencia de la contaminación directa (Maderey, 2005).

Tabla 6.4 Impactos en los servicios ambientales de cuencas y bosques de la zona baja de la microcuenca del Pixquiac.

Zona Baja									
Actividades antrópicas en la microcuenca del río Pixquiac		SA de las cuencas hidrológicas			SA de los bosques			Subtotal por actividad	Total por actividad
		Incidido (1)	Perturbado (2)	Degradado (3)	Incidido (1)	Perturbado (2)	Degradado (3)		
Agrícola	Control de insectos (uso de pesticidas)				1	1		2	17
	Control de pequeños roedores (con trampas y venenos)					2		2	
	Control de malas hierbas (uso de herbicidas)	3			1	1		5	
	Aplicación de agroquímicos		2	1		2		5	
	Método de laboreo		2			1		3	
Pecuaria	Cría de ganado, aves o porcinos	2	2		1	2		7	16
	Limpieza del área donde habitan los animales	3	1		1	1		6	
	Pastoreo		1			2		3	
Acuícola	Método de crianza	3	2			2		7	14
	Sustancias químicas utilizadas para la alimentación o enfermedades	2	1		1			4	
	Modificación del patrón de corriente		1	1		1		3	
Doméstica	Descargas de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica		3	1		2		6	21
	Descargas de grasas y aceites	4			1			5	
	Descarga de detergentes y jabones	1	3			1		5	
	Drenaje		3	1		1		5	
Industrial	Descargas de aguas residuales con residuos tóxicos			5		1	2	8	16
	Derrames y escapes		5			3		8	
Total		18	26	9	6	23	2	84	
		53			31				
		Incidido	24	Perturbado	49	Degradado	11		

Fuente: Menchaca, Alvarado y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

La contaminación difusa está presente en la microcuenca, pues todos los usuarios del agua contribuyen al deterioro de los cuerpos naturales, impactándolos negativamente con los residuos que resultan de las diversas actividades, sin saber exactamente el origen de su generación, ya que desde la zona alta se desarrollan dichas actividades, contaminando diferentes puntos de la microcuenca. Lo anterior, deja en claro la relevancia que tiene tomar acciones desde la parte más alta de la microcuenca, pues las consecuencias de las actividades que ahí se desarrollan se ven reflejadas en la parte más baja.

Como se ha mencionado anteriormente, una de las formas de contaminación de las aguas superficiales es por arrastre de fertilizantes, patógenos, materia orgánica y residuos de pesticidas mediante la erosión de las capas más superficiales del suelo, que son aquellas en las que estas sustancias se acumulan en mayor medida (COAG, 2010).

Sin duda alguna, las actividades antropogénicas continúan siendo una severa problemática en la zona baja de la microcuenca (ver gráfico 6.10). En esta zona, la actividad

doméstica es la responsable de la mayoría de los impactos, el 25% de un total de 84, sin embargo, las actividades agropecuarias, continúan teniendo grandes repercusiones sobre los servicios ambientales, principalmente la calidad del agua.

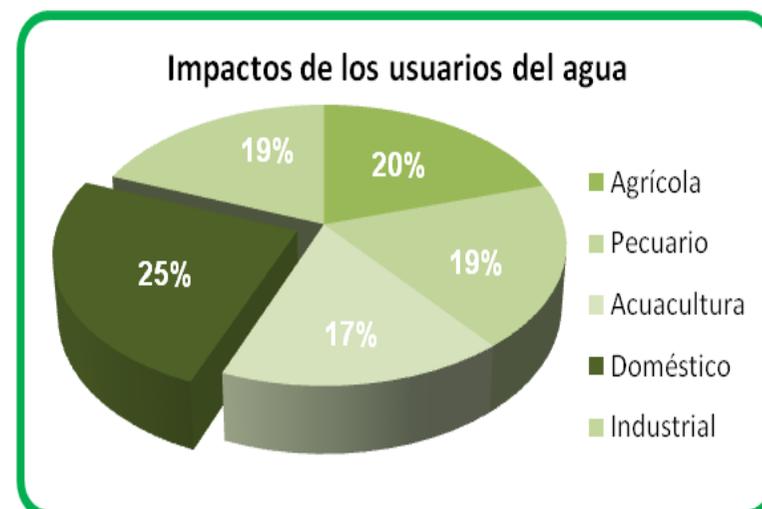


Gráfico 6.10 Usuarios del agua que impactan a los servicios ambientales en la microcuenca. **Fuente:** Menchaca, Alvarado y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

Se ha llegado a establecer que la combinación entre la cantidad de ganado (alta o baja) y la aplicación de fertilizantes (bajas o altas dosis), en especial de fertilizantes fosfatados, son

los factores claves que controlan la entrega de nutrientes a cursos de agua superficiales a nivel de cuencas hidrológicas (Jarvis, 2002), citado en Alfaro y Salazar (2005). Más adelante cuando se muestren las concentraciones de fosfatos, se verá que estos se presentan en altas concentraciones en toda la microcuenca del río Píxquiac, incluso rebasando los límites máximos permisibles de acuerdo a la normatividad.

El mismo autor (2002), menciona que en áreas donde se desarrollan sistemas intensivos de producción animal y se aplican altas cantidades de fertilizantes fosfatados, las pérdidas de Fósforo (P) a cursos de agua pueden superar los $31 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, esto es, $70 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Gerber *et al.*, 2002) y en áreas donde la eficiencia del Nitrógeno (N) utilizado como fertilizante es baja, existiendo una sobredisponibilidad de este elemento, las pérdidas de N pueden llegar a ser equivalentes a $250 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Jarvis, 2002), citado en Alfaro y Salazar (2005).

Ahora bien, es necesario resaltar que de las actividades con menos afectaciones, destaca la acuicultura, actividad propia de la zona media y baja, y que en ambas, representa el menor

porcentaje en cuanto a impactos ambientales se refiere. No obstante, no deja de ser una actividad más que está mermando los servicios ambientales de los ecosistemas, pues para la actividad acuícola es necesaria la excavación del suelo para la construcción de estanques, lo cual modifica el perfil del suelo, reduce la densidad, permeabilidad y capacidad de infiltración. Ello trae consigo afectaciones a la calidad del agua ya que los residuos de los alimentos con elevadas cantidades de proteínas que se suministran a las especies se descargan en la corriente de los ríos (Alvarado, 2010); además de que no se tienen datos puntuales sobre si utilizan hormonas para el crecimiento de las especies.

A pesar de que la actividad acuícola, no destaca como una de las actividades más degenerativas, es preciso tomar medidas para el adecuado control de dicha actividad, ya que está relacionada con la presencia de residuos de medicamentos, incluidos antibióticos y hormonas, en ambientes acuáticos como las aguas subterráneas, las aguas superficiales, y el agua del grifo. Además, las concentraciones de antibióticos en el agua, aunque sean bajas, hacen que las bacterias desarrollen resistencias (Turner *et al.*, 2004).

Pasando ahora a las actividades que representan una severa problemática en la zona baja, destacan la doméstica y la industrial, las cuales representan el 44% del total de impactos en esta zona, que es de 84. Se puede señalar que estas actividades son de las principales responsables del descenso de la calidad del agua superficial, primordialmente cuando se habla de contaminación por descargas con alto contenido de materia orgánica, grasas y aceites, detergentes y jabones y aguas residuales con residuos tóxicos.

No obstante, las actividades pecuarias también contribuyen a la contaminación por materia orgánica. La mayor parte del agua que se utiliza en ganadería vuelve al ambiente en forma de estiércol o de aguas residuales. Las excretas del ganado contienen cantidades importantes de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio), metales pesados, grandes cantidades de microorganismos zoonóticos, parásitos y patógenos y residuos de medicamentos (una porción importante de los medicamentos utilizados no se degrada en el cuerpo del animal y termina en el ambiente). Si estos elementos llegan al agua o se acumulan en el suelo constituyen una amenaza para

el medio ambiente y la salud de las poblaciones (Gerber y Menzi, 2005).

Al respecto, la OMS (2005) argumenta que cuando se reciclan apropiadamente los desechos producidos por el ser humano, pueden ser un recurso útil que estimule la fertilidad de los suelos. Sin embargo, cuando los desechos contienen productos químicos persistentes tales como organoclorados o metales pesados, el reciclaje puede conducir a la acumulación de estos agentes contaminantes y a una mayor exposición de los seres humanos a los mismos, a través del alimento y del agua.

Referente al drenaje, éste es un factor más que incide fuertemente en la contaminación de los cuerpos de agua, pues la ausencia de éste, o la deficiencia en cuanto a su infraestructura ocasionan la generación de descargas directas en las corrientes superficiales. Esto se verá de manera detallada en el siguiente apartado, pues se presentan las concentraciones de coliformes totales y coliformes fecales, en las tres zonas de la microcuenca en un período de 8 años, del 2005 al 2012.

Por otra parte, las emisiones domésticas e industriales a la atmósfera incorporan materiales a las nubes que posteriormente son devueltas a la tierra en las precipitaciones. Éstos incluyen una gran cantidad de productos químicos como disolventes orgánicos y óxidos de nitrógeno y azufre, los cuales causan la lluvia ácida. La cantidad y tipo de las impurezas en las precipitaciones varían con la localización y la época del año, y pueden afectar tanto a ríos como lagos (Eriksson, 1985), citado en Gray (1994).

Además, las precipitaciones intensas tienden a afectar adversamente la calidad del agua al aumentar las cantidades de agentes contaminantes químicos y biológicos que son repentinamente descargados en los ríos, al sobrepasarse la capacidad de los sistemas de alcantarillado y de almacenamiento de aguas residuales (OMS, 2005); lamentablemente, en la microcuenca ni siquiera se cuenta con dichos sistemas, mientras que sí existe la presencia de descargas directas en las corrientes superficiales de aguas residuales que contienen materia orgánica, grasas, aceites, nitratos y fosfatos, provocando perturbaciones en las

condiciones químicas, físicas y biológicas de los cuerpos naturales de agua.

Referente a la actividad industrial, lo más preocupante son las descargas de aguas residuales con residuos tóxicos y los derrames y escapes. Es preciso señalar que dicha actividad se desarrolla en el municipio de Coatepec, tal es el caso de los beneficios de café, embotelladora de Coca Cola, empacadoras de carnes frías, elaboración de productos lácteos de la empresa Nestlé y varios de la Industria Metal Mecánica. El comercio minorista es extendido ya que cuenta con gran número de tiendas de abarrotes, carnicerías, tiendas de ropa, etc. (Alvarado, 2010).

A pesar de que la industria representa tan solo 16 impactos del total de 222 en toda la microcuenca, es decir, únicamente el 7.20%, todos sus impactos son de tipo perturbado y degradado, además, se tiene que del total de impactos degradados en la zona baja, que es de once, siete de éstos corresponden a la actividad industrial, lo que significa que el 77.77% de los impactos de tipo degradado en dicha zona, son causados por la actividad industrial.

Ahora bien, en toda la microcuenca y en cada una de las zonas de ésta, los impactos de tipo degradado representan la minoría, siendo los de tipo perturbado los que reflejan un alto porcentaje de incidencia, y es precisamente la zona baja, donde éstos alcanzan una mayor significancia, pues representan el 58% (ver gráfico 6.11), del total de impactos en dicha zona, que es de 84, mayor porcentaje que las zonas anteriores. Además, las afectaciones sobre los servicios ambientales de cuencas hidrológicas se incrementan notoriamente, resultando con un porcentaje del 63%, mientras que para los servicios de bosques se tiene sólo el 37%, esto se refleja en el Gráfico 6.12.

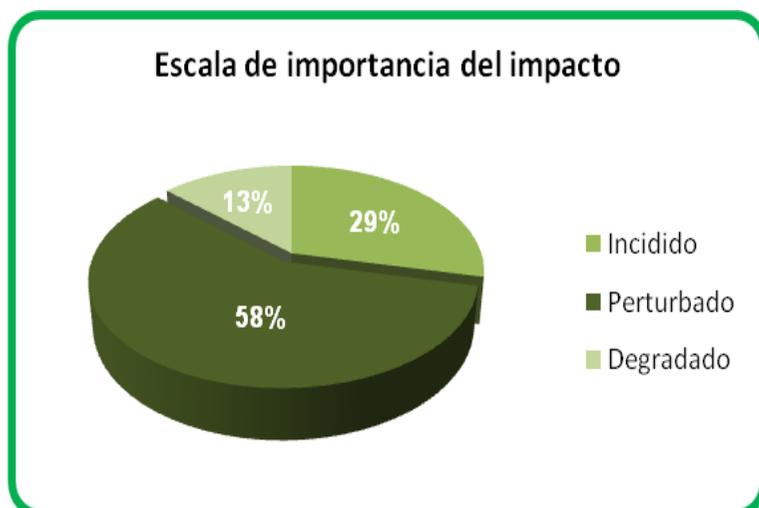


Figura 6.11 Escala de importancia del impacto. **Fuente:** Menchaca, Alvarado y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

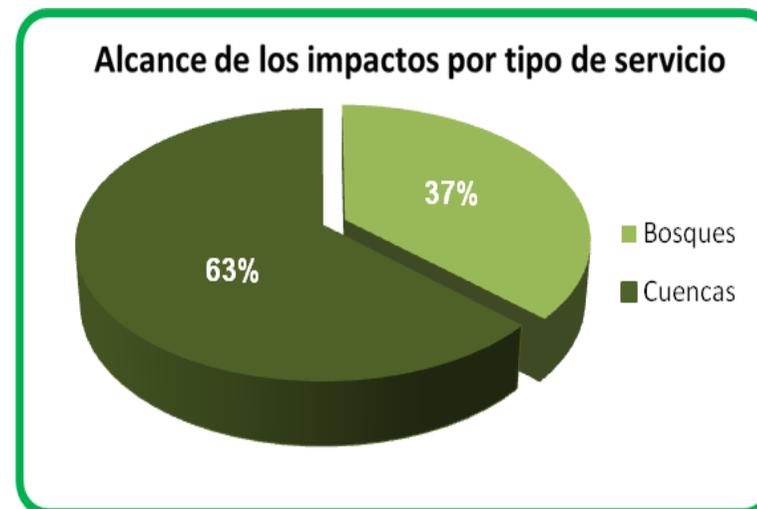


Gráfico 6.12 Alcance de los impactos por tipo de servicio. **Fuente:** Menchaca, Alvarado y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

6.1.4 Actividades antropogénicas que impactan a la calidad del agua superficial

Para finalizar, se muestra en las Tablas 6.5, 6.6 y 6.7, las actividades específicas de los usuarios del agua que más impactan sobre la calidad del agua superficial, uno de los servicios ambientales de las cuencas hidrológicas, y que además es considerada como una de las variables dependientes

en el presente estudio de investigación. Para cada una de las actividades se muestra la escala de importancia del impacto, es decir, incidido (1), perturbado (2) y degradado (3). Los datos aquí descritos, se obtuvieron a partir de las matrices de evaluación de impacto ambiental de los usuarios del agua en cada una de las zonas de la microcuenca del río Pixquiac.

Tabla 6.5 Actividades antropogénicas que impactan a la calidad del agua superficial en la zona alta.

Zona	Usuario	Actividad	Alcance del impacto
Alta	Agrícola	Aplicación de agroquímicos	2
	Pecuario	Limpieza del área donde habitan	1
		Pastoreo	2
	Doméstico	Descarga de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica	1
		Descarga de grasas y aceites	1
		Descarga de detergentes y jabones	1

Fuente: Menchaca, Alvarado y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

Como se puede ver, en la zona baja la calidad del agua se encuentra más afectada, siendo la aplicación de agroquímicos, descarga de aguas residuales con residuos tóxicos, descarga de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica y el drenaje, las actividades que impactan de forma degradada a dicho servicio. Para las demás zonas, se registran únicamente impactos de tipo incidido y perturbado. Por otra parte, se puede decir que a nivel de microcuenca, las actividades con mayor influencia sobre la calidad del agua superficial son la aplicación de agroquímicos y el pastoreo, debido a su presencia en las tres zonas y a la escala de importancia del impacto, pues todas son de tipo perturbado, a excepción de la aplicación de agroquímicos en la zona baja, que ha pasado a ser de tipo degradado.

Por todo lo anterior, y a manera de conclusión, es pertinente destacar la gran importancia que los servicios ambientales representan para el bienestar de las sociedades, y que por ello es imprescindible que tanto la sociedad civil como tomadores de decisiones prioricen la gestión adecuada de dichos servicios (Ruiz, 2007).

Tabla 6.6 Actividades antropogénicas que impactan a la calidad del agua superficial en la zona media.

Zona	Usuario	Actividad	Alcance del impacto
Media	Agrícola	Control de insectos (Uso de pesticidas)	2
		Control de pequeños roedores (Con trampas y veneno)	1
		Aplicación de agroquímicos	2
	Pecuario	Limpieza del área donde habitan	1
		Pastoreo	2
	Acuícola	Método de crianza	2
		Sustancias químicas utilizadas para la alimentación o enfermedades	1
	Doméstico	Descarga de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica	2
		Descarga de grasas y aceites	1
		Descarga de detergentes y jabones	1

Fuente: Menchaca, Alvarado y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

Tabla 6.7 Actividades antropogénicas que impactan a la calidad del agua superficial en la zona baja.

Zona	Usuario	Actividad	Alcance del impacto
Baja	Agrícola	Control de malas hierbas (Uso de herbicidas).	1
		Aplicación de agroquímicos	3
	Pecuario	Limpieza del área donde habitan	1
		Pastoreo	2
	Acuícola	Método de crianza	1
		Sustancias químicas utilizadas para la alimentación o enfermedades	2
	Industrial	Descarga de aguas residuales con residuos tóxicos	3
		Derrames y escapes	2
	Doméstico	Descarga de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica	3
		Descarga de grasas y aceites	1
Descarga de detergentes y jabones		2	
Drenaje		3	

Fuente: Menchaca, Alvarado y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

6.2 Calidad del agua

Después de analizar las distintas actividades antropogénicas, y determinar que éstas impactan negativamente los servicios ambientales de bosques y cuencas hidrológicas, principalmente a la calidad del agua superficial, debido a que generan residuos que son depositados ya sea directamente o por escorrentía en los cuerpos naturales de agua de la microcuenca. Se presentan a continuación, los resultados de los once indicadores de la calidad del agua, clasificados en químicos, metales pesados y bacteriológicos.

6.2.1 Características químicas

Son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.

6.2.1.1 Cianuro

La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, por sus siglas en inglés (ATSDR), define al cianuro como un grupo químico que consiste de un átomo de carbono conectado a un átomo de nitrógeno por tres enlaces ($C\equiv N$). Los cianuros pueden ocurrir en forma natural o ser manufacturados; la mayoría son venenos potentes y de acción rápida. Entran al aire, al agua y al suelo como consecuencia de procesos naturales y de actividades industriales (ATSDR, 2006).

Debido a que las fuentes principales de cianuro en el agua son las descargas de algunos procesos de minado de minerales, industrias de sustancias químicas orgánicas, plantas o manufactura de hierro o acero, industrias de colorantes y farmacéuticas, se puede decir que la principal causa de generación de cianuros en los cuerpos de agua en la microcuenca del río Pixquiac se debe a cuestiones naturales (ATSDR, 2006). No obstante, la incineración de basura municipal (actividad doméstica) y el uso de plaguicidas que contienen cianuro (actividad agrícola), también están ligados a la generación de dicho compuesto, sin embargo, estas actividades

específicas no están contempladas en el factor antrópico en la microcuenca, debido a que no afectan directamente a la calidad del agua superficial, o bien los impactos no presenta una mayor afectación.

En la microcuenca, zona de estudio, se presenta una homogeneidad en las concentraciones de cianuro, pues la mayoría de los valores se encuentran por debajo de los 0.01 mg/L, únicamente se presenta un valor extremo para la zona alta en el año 2008, durante la época de lluvias con una concentración de 0.02 mg/L, dicho valor se observa claramente en el gráfico A (ver gráficos 6.13).

A pesar de que es ínfima la diferencia, se puede observar también en el gráfico A, que sí existe variación de los niveles de cianuro entre las tres zonas de la microcuenca. Destacando la zona alta, ya que en ésta se registra la mayor concentración de cianuro que fue de 0.02 mg/L. De acuerdo a la media aritmética, la zona alta presenta mayor cantidad de cianuro, con un valor de 0.0055 mg/L, le sigue la zona media con 0.00452 mg/L, y finalmente, la zona baja con 0.0041 mg/L. Esto demuestra, que desde la zona alta ha existido la presencia de este compuesto, a

pesar de que dicha zona es la menos impactada por las actividades antropogénicas, y es donde se registra la mayor concentración en los ocho años.

Ahora bien, respecto a los límites máximos permisibles para el cianuro, la OMS y la Nom-127 establecen como valor máximo 0.07 mg/L, el cual no fue rebasado en ningún momento durante los ocho años de estudio, teniendo como valor máximo alcanzado 0.02 mg/L. Los criterios ecológicos establecen como límite máximo permisible 0.2 mg/L, lo mismo que la EPA (Environmental Protection Agency) de los Estados Unidos, la cual establece normas para la cantidad de cianuro en el agua potable, y de acuerdo a ésta, la cantidad más alta que se permite es de 200 microgramos de cianuro por litro de agua (200 µg/L ó 0.2 ppm), lo que es igual a 0.2 mg/L. Tan solo en Estados Unidos y en Canadá, la concentración de cianuro en el agua potable varía entre 0.001 y 0.011 mg/L (ATSDR, 2006).

De acuerdo a la ATSDR (2006), la mayor parte del cianuro en el agua superficial formará cianuro de hidrógeno y se evaporará. Sin embargo, la cantidad de cianuro de hidrógeno que se forma generalmente no es suficiente como para afectar la

salud de seres humanos. Una porción del cianuro en el agua será transformada por microorganismos (plantas y animales de tamaño muy pequeño) a sustancias químicas menos dañinas o formará un complejo con metales, como por ejemplo el hierro. El cianuro no se acumula en el cuerpo de los peces y, su vida media en el agua es desconocida.

Según la OMS (2006), el cianuro se elimina del agua con dosis altas de cloro, no obstante señala, que la toxicidad aguda de los cianuros es alta, aunque está relacionada muy comúnmente con el consumo de plantas comestibles. Se han registrado en algunos casos, efectos en el tiroides y, en particular, en el sistema nervioso, como consecuencia del consumo prolongado de yuca procesada inadecuadamente, con concentraciones altas de cianuro.

Con relación al gráfico B (ver gráficos 6.13) éste muestra la variación de las concentraciones por estación, se puede mencionar que para la zona baja, sí hubo una notable diferencia entre las estaciones y/o épocas del año, pues durante el verano y el otoño, se obtuvieron las concentraciones más bajas, donde la mayoría fluctúa entre 0.002 mg/L y 0.004 mg/L; éstas

estaciones representan la época de lluvias, temporada en la que los caudales de los ríos aumentan debido a las torrenciales lluvias y se suele tener bajas concentraciones de sustancias químicas, pues aumenta el volumen de agua en que éstas se diluyen. En cambio en la zona media, se registraron bajas concentraciones únicamente durante el otoño, siendo la más alta de 0.003 mg/L. Por último, en la zona alta se presenta un comportamiento más lineal, pues no hay tanta variación en las concentraciones, a excepción del valor extremo que como ya se mencionó se obtuvo en ésta zona y fue el más alto de todo el periodo, éste se registró en el otoño.

En el gráfico C (ver gráficos 6.13), se presenta el comportamiento del cianuro de manera temporal. Se tiene ausencia de datos para los años 2006, 2007 y 2011, por lo cual, considerando la información de los años restantes, se señala que ha habido un descenso de los niveles de cianuro en el agua. Es importante destacar, que en el año 2008 debió presentarse algún suceso que causara el aumento de cianuro en las corrientes superficiales, puesto que en dicho año se alcanzaron las concentraciones más altas en todo el periodo de estudio,

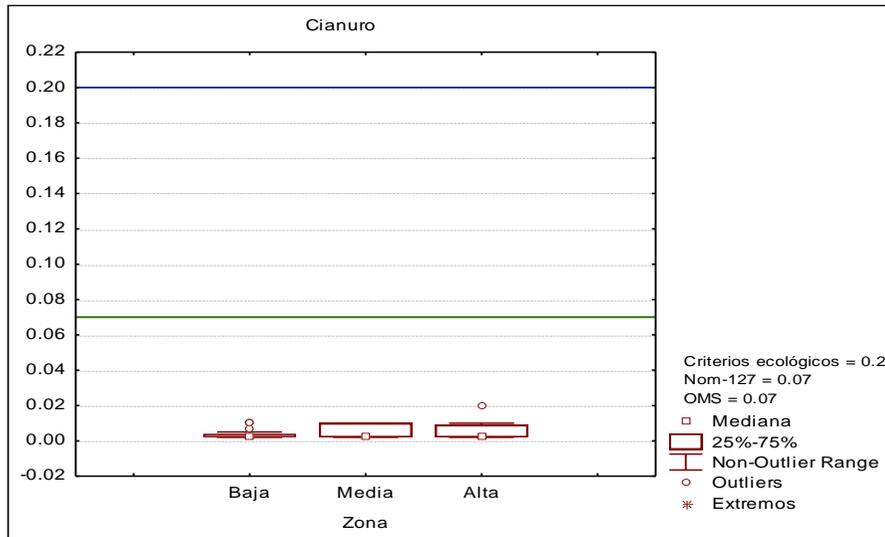
entre las cuales destaca la máxima, de 0.02 mg/L; el resto, fue en su mayoría de 0.01 mg/L.

Finalmente, es importante aludir a los daños que pudiese generar la presencia de cianuro en el cuerpo humano. De acuerdo a la ATSDR (2006), la exposición a cantidades pequeñas de cianuro puede ser fatal, por otra parte, la gravedad de los efectos depende en parte de la forma de cianuro, por ejemplo cianuro de hidrógeno gaseoso o sales de cianuro. La exposición a niveles altos de cianuro durante un período breve daña el cerebro y el corazón y puede producir coma y la muerte. Una vez que está en los pulmones o el estómago, el cianuro puede pasar rápidamente a la corriente sanguínea.

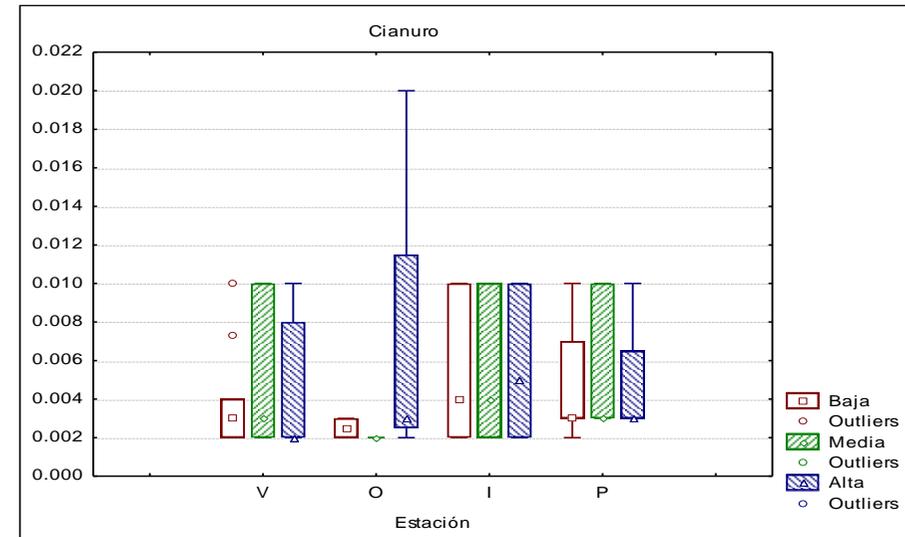
Cabe señalar, que cierta porción del cianuro es transformada a tiocianato, sustancia que es menos peligrosa, y abandona el cuerpo en la orina. Una pequeña cantidad de cianuro es convertida en el cuerpo a anhídrido carbónico, que abandona el cuerpo en el aliento. En casos de exposición a niveles bajos, la mayor parte del cianuro y sus productos abandonan el cuerpo durante las 24 horas después de la exposición.

Resultados de cianuro de los años 2005, 2008 al 2010 y 2012.

A



B



C

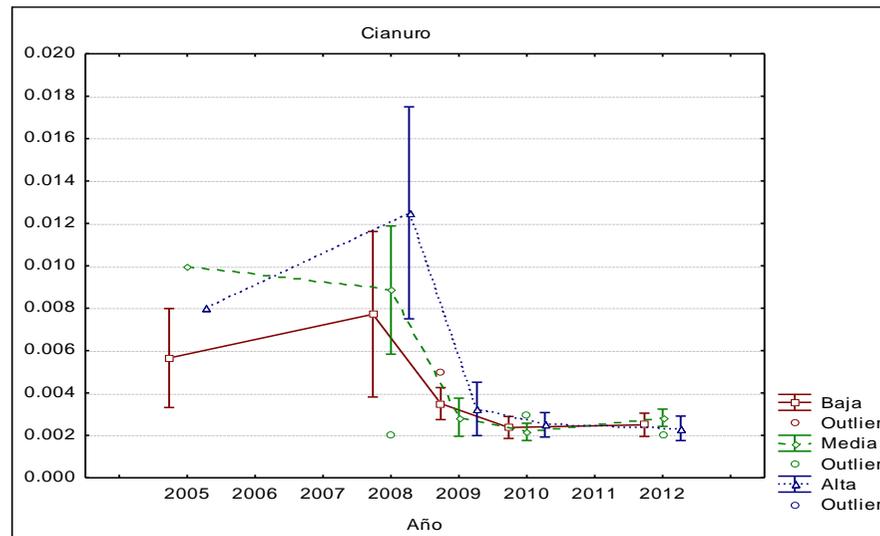


Gráfico 6.13 Análisis estadístico de cianuro en la microcuenca del río Pixquiác. **A**, análisis por zonas y límites máximos permisibles; **B**, análisis por estaciones del año y; **C**, análisis temporal. **Fuente:** *Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.*

6.2.1.2 Fosfatos

De acuerdo al ciclo del fósforo, el movimiento ambiental de éste es sumamente lento, ya que el depósito principal de fósforo son las rocas sedimentarias, las cuales de manera natural únicamente intervienen en el ciclo básico como resultado de la intemperización, lo que ocurre en una proporción mínima. Sin embargo, el ser humano ha complicado este ciclo tan simple, al extraer minerales de un lugar y depositarlos como fertilizantes en el suelo de otros, sin poner la más mínima atención al aumento inevitable de las cantidades de fósforo que llegarán a los cuerpos de agua, afectando no sólo a los mantos acuíferos, sino que afecta la calidad del agua a causa de la eutrofización acelerada. Por otra parte, diversos elementos no esenciales pueden incorporarse a este ciclo y, de este modo, contaminar las cadenas tróficas (Namihira, 2004).

En este sentido, la presencia de fósforo en el agua por cuestiones naturales representa una mínima incidencia, quedando como principal responsable las actividades antropogénicas. De acuerdo a Ecosistemas y salud, los aumentos sostenidos de la carga de nitrógeno y fósforo en los

ecosistemas, originada en actividades humanas terrestres, están contribuyendo al deterioro de la calidad del agua en muchas de las regiones habitadas del mundo, asevera que el uso de fertilizantes es la causa principal de este problema.

En efecto, las altas concentraciones de fosfatos que se presentan en la microcuenca de estudio, como ya se mencionó en el apartado de factor antrópico, pudiesen deberse a que se aplican grandes concentraciones de fertilizantes fosfatados, para una menor o muy pequeña población animal, en relación al número de hectáreas de suelo, según la actividad que se desarrolle. Maderey (2005), agrega que el uso de fertilizantes o abonos orgánicos, llamados fitosanitarios, con presencia de fosfatos influyen de manera negativa en la presencia de éstos en agua, ya que también pueden llegar por percolación a los acuíferos naturales.

Precisamente los fosfatos, son la forma más habitual de encontrar el fósforo en agua. Se pueden encontrar en solución, en forma de partículas o detritus, o incluso en los organismos acuáticos. Además del uso de fertilizantes fosfatados, otro origen más de su presencia en las corrientes superficiales, se

debe a la materia orgánica proveniente de desechos urbanos y a los detergentes de uso doméstico (lavado de la ropa o limpieza en general) e industrial, ya que los fosfatos se añaden en forma de aditivo a los detergentes. La carga de fosfato total se compone de ortofosfato, polifosfato y compuestos de fósforo orgánico, siendo normalmente la proporción de ortofosfato la más elevada (Gerber *et al.*, 2005).

Bajo este escenario, se establece entonces que son las actividades agrícolas y domésticas las principales causantes de la presencia de fosfatos en las corrientes superficiales de la microcuenca del río Pixquiac. Por lo tanto, la concentración de fosfatos en cada una de las zonas, pudiera estar relacionada con el número de impactos en las mismas. De esta manera, basándose en las Tablas 6.2, 6.3 y 6.4 del factor antrópico, es posible sumar los impactos de las actividades agrícolas y domésticas, lo que da un resultado de 35, 41 y 38 impactos para las zonas alta, media y baja respectivamente. Así pues, las zonas más afectadas por estas actividades son la media y la baja. Lo anterior, concuerda con los datos del gráfico A (ver gráficos 6.14), donde se puede ver que efectivamente son las zonas media y baja, las que presentan las concentraciones más

altas registradas, que van de los 0.26 a los 0.33 mg/L, siendo el valor más alto 0.33 mg/L, el cual se obtuvo en el sitio de muestreo Agua Fría (zona media), durante la primavera del año 2009.

Respecto a la normatividad, es importante mencionar que la Nom-127 y la OMS no establecen valores límite para fosfatos. Por el contrario, los criterios ecológicos señalan un valor de 0.1 mg/L, mismo que es rebasado en casi todos los muestreos hechos en la microcuenca, pues el 77.28% de éstos, es decir, 34 de 44 muestras en total, están por encima del límite máximo permisible, por lo que únicamente 10, se encuentran respetando la normatividad.

Con relación a las estaciones del año, se observa en el gráfico B (ver gráficos 6.14), que las concentraciones más bajas para las tres zonas de la microcuenca, que son de 0.019 mg/L, predominaron durante el verano, a excepción del valor más pequeño que fue de 0.01 mg/L, obtenido en el invierno del 2007 en el sitio de muestreo Cinco Palos, de la zona baja. Por el contrario, fue durante la primavera que prevalecieron las concentraciones más altas, de 0.26 a 0.33 mg/L. No obstante,

también se observa un incremento de fosfatos durante el otoño, el cual fue muy similar en las tres zonas y, cuyas concentraciones se encuentran por encima de la normatividad (ver gráficos 6.14).

Por último, el gráfico de temporalidad, presenta la fluctuación de los datos únicamente para los años del 2007 al 2010, debido a que sólo se tiene registro de dichos años. Sin embargo, a pesar de no contar con datos suficientes para determinar el comportamiento de los fosfatos, se puede notar que hubo un ascenso de la cantidad de éstos en los cuerpos de agua hasta el año 2009, pero en el 2010 se presentó un decremento, lo que impide conocer si en los próximos años la cantidad de fosfatos se mantuvo constante, aumentó o si disminuyó considerablemente.

Es pertinente mencionar, que la concentración de fosfatos en un agua natural es fundamental para evaluar el riesgo de eutrofización, debido a que éstos suelen ser el factor limitante en los ecosistemas para el crecimiento de los vegetales, y un gran aumento de su concentración puede provocar la eutrofización de las aguas. Así pues, los fosfatos están directamente

relacionados con la eutrofización de ríos, pero especialmente de lagos y embalses. En lo referente a las aguas de consumo humano, un contenido elevado modifica las características organolépticas y dificulta la floculación-coagulación en las plantas de tratamiento (Turner *et al.*, 2004).

Lo anterior, refleja la importancia que tiene controlar los niveles de fosfatos en las corrientes superficiales, ya que las concentraciones que se obtuvieron en los cinco sitios de muestreo, arrojaron valores muy por encima de la normatividad, misma que establece que los cuerpos de agua utilizados para el suministro de agua potable no deben exceder los 0.1 mg/L.

El mismo autor (2004), agrega que las concentraciones críticas para una eutrofización incipiente se encuentran entre 0.1-0.2 mg/l PO₄-P en el agua corriente y entre 0.005-0.01 mg/l PO₄-P en aguas tranquilas. La forma asimilable del fósforo es el ión fosfato, aunque en el agua a veces se encuentran compuestos fosforados en estado coloidal o en forma de fósforo como elemento.

Resultados de fosfatos de los años 2007 al 2010.

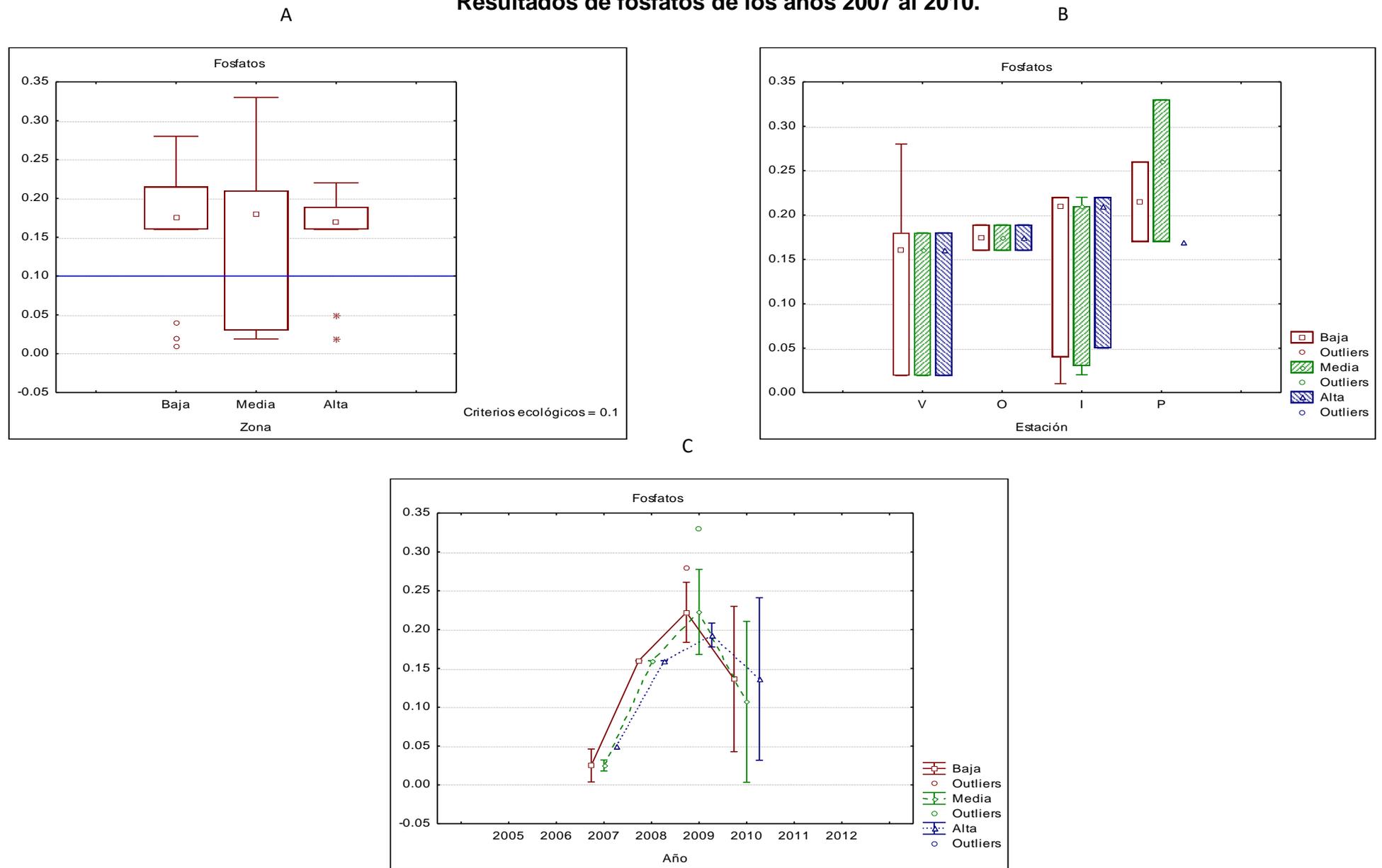


Gráfico 6.14 Análisis estadístico de fosfatos en la microcuenca del río Pixquiác. **A**, análisis por zonas y límites máximos permisibles; **B**, análisis por estaciones del año y; **C**, análisis temporal. **Fuente:** Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

6.2.1.3 Fenoles

El fenol es un sólido incoloro a blanco cuando ocurre en forma pura. La preparación comercial es un líquido que se evapora más lentamente que el agua, y presenta un olor repugnantemente dulce y alquitranado característico. Los fenoles o compuestos fenólicos se usan principalmente en la producción de resinas fenólicas y en la manufactura de nylon y otras fibras sintéticas (ATSDR, 2008).

Los fenoles o compuestos fenólicos se utilizan también, como producto intermedio de diversos procesos de producción, en industrias como farmacéutica, producción de resinas fenólicas y resinas epoxi, petroquímica, entre otras. Además, el fenol se usa en productos químicos para matar bacterias y hongos, para fabricar plásticos, como desinfectante en productos de limpieza domésticos y en productos de consumo tales como: enjuagadientes, lociones antisépticas, pastillas para la garganta, entre otros (ATSDR, 2008).

De acuerdo a Alfaro y Salazar (2005), se ha determinado que el incremento de los niveles ambientales de fenol se puede presentar por la quema de bosques; sin embargo, la mayor

cantidad de fenol que se libera al medio ambiente es fruto de la actividad industrial y de la comercialización de productos finales que lo contienen. Se puede señalar también como responsable a la actividad doméstica, pues algunos de los productos que contienen fenoles y son requeridos por la sociedad, finalmente se convierten en residuos sólidos, cuya disposición final no se efectúa adecuadamente.

Bajo este escenario, se puede decir entonces que son las actividades domésticas e industriales las principales causantes de la presencia de fenoles o compuestos fenólicos en los cuerpos de agua de la microcuenca. Se puede ver en el gráfico A (ver gráficos 6.15), que el comportamiento de los fenoles a lo largo de toda la microcuenca es muy parecido, a excepción de los valores fuera de rango, uno en la zona media que fue de 0.09 mg/L, y el otro en la zona baja de 0.11 mg/L. No obstante, se presenta un ligero aumento de las concentraciones de fenoles conforme se va descendiendo en la microcuenca, pues la concentración más alta registrada para la zona alta es de 0.061 mg/L, para la media 0.09 mg/L y para la baja 0.11 mg/L, ésta última, la mayor en todos los sitios de muestreo. Realmente la diferencia es mínima entre cada una de las zonas, además la

actividad industrial únicamente se desarrolla en la zona baja y de acuerdo a lo mencionado anteriormente, las industrias asentadas en la microcuenca no generan realmente altas cantidades de compuestos fenólicos, por lo que se asume que la actividad doméstica es la principal responsable de la generación de estos compuestos.

Con respecto a la normatividad, en el mismo gráfico A, se puede observar de acuerdo a la Nom-127, el límite máximo permisible de 0.001mg/L. Cabe destacar, que dicho límite fue cambiado a 0.3 mg/L, de acuerdo a la modificación que se le hizo a la Nom-127, y el cual continua vigente. Sin embargo, se decidió utilizar el valor de 0.001 mg/L, ya que la normatividad en materia de agua debería estar encaminada a la restricción de compuestos químicos en los cuerpos naturales, no a aumentar la permisibilidad de éstos. En este sentido, los fenoles están excedidos en las tres zonas de la microcuenca y en los cinco sitios de muestro.

Por otra parte, los criterios ecológicos establecen un límite de 0.3 mg/L, mientras que la OMS especifica únicamente límites máximos permisibles para clorofenoles (2-clorofenol, 2,4-

diclorofenol, 2,4,6-triclorofenol). Otros organismos internacionales, tal es el caso de la EPA, ha determinado que la exposición a una concentración de fenol de 6 miligramos por litro (mg/L) en el agua potable durante un período de hasta 10 días, no causará efectos adversos en un niño. Además, la EPA argumenta que la exposición de por vida a 2 mg/L de fenol en el agua potable no causará efectos adversos a la salud.

Con respecto a las épocas y/o estaciones del año, se aprecia en el gráfico B (ver gráficos 6.15), que durante la temporada de estiaje los valores mínimos registrados fueron de 0.02 mg/L, a excepción de un valor de 0 registrado en el sitio de muestreo Medio Pixquiac en la zona media, durante el invierno del 2006. No obstante, se observa que la época de lluvias, presenta durante el otoño una concentración de 0.09 mg/L, la cual es incluso mayor que todas las registradas en la temporada de estiaje, y a su vez la más alta de la zona media. En definitiva, no se tiene una significativa diferencia en cuanto estaciones se refiere, ya que la mayoría de las concentraciones de fenoles fluctúan entre los 0.02 y 0.06 mg/L.

De acuerdo al gráfico de temporalidad, gráfico C, se presenta un incremento de fenoles en las tres zonas de la microcuenca, el cual puede estar en parte influenciado por las actividades domésticas de la región y el aumento poblacional; sin bien, el incremento de los fenoles es moderado y paulatino, este cambio no debería pasar desapercibido, pues podría representar la posibilidad de futuros aumentos de las concentraciones de fenoles en aguas superficiales. Los años con mayor dispersión fueron el 2006, en la zona media, con un rango entre 0 y 0.09 mg/L, y el 2009 en la zona baja, con valores entre los 0.019 y 0.11 mg/L.

Referente a los daños a la salud que ocasionan los fenoles o compuestos fenólicos, la ATSDR (2008), menciona que los síntomas clínicos después de la exposición crítica son hiper-exitabilidad muscular y convulsiones severas, necrosis de la piel y de las membranas mucosas de la garganta, efectos en los pulmones, en las fibras nerviosas, los riñones, el hígado y sensibilidad de la pupila a la luz. Se han reportado casos fatales luego de la intoxicación oral y dérmica al fenol, pero no se han reportado muertes por inhalación de éste.

La ingestión de fenol produce tanto efectos locales como sistémicos, y produce síntomas similares a los que se presentan por intoxicación a través de la piel. Se ha reportado que dosis orales de 50 a 500 mg de fenol han sido fatales en niños, mientras que la muerte de adultos se ha presentado con dosis de entre 1 y 32 g. (ATSDR, 2008).

Resultados de fenoles de los años 2005 al 2010.

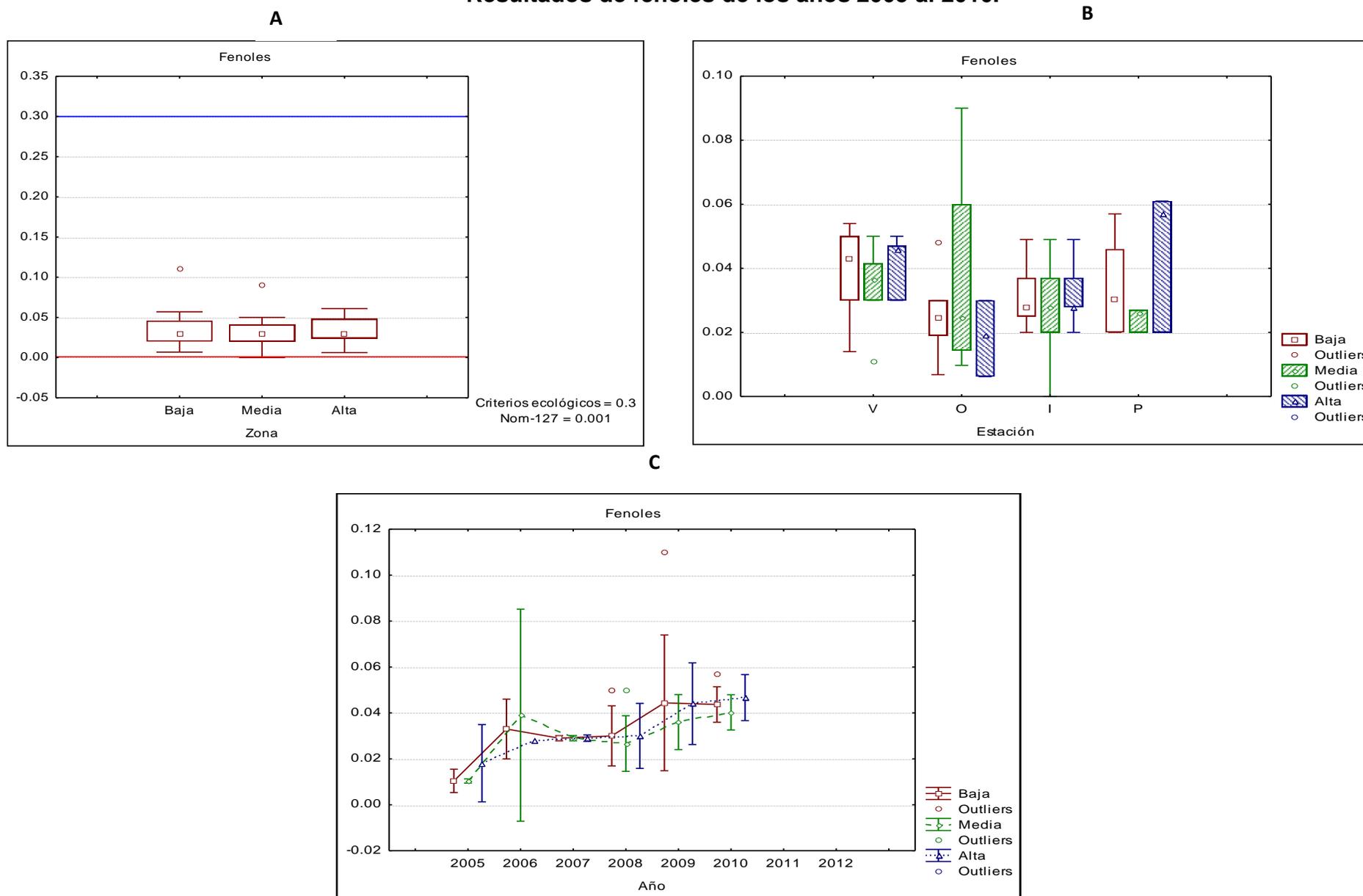


Gráfico 6.15 Análisis estadístico de fenoles en la microcuenca del río Pixquiác. **A**, análisis por zonas y límites máximos permisibles; **B**, análisis por estaciones del año y; **C**, análisis temporal. **Fuente:** Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

6.2.1.4 Detergentes

Los detergentes son productos químicos sintéticos que se utilizan en grandes cantidades para la limpieza doméstica e industrial y que actúan como contaminantes del agua al ser arrojados en las aguas residuales. Están formados básicamente por un agente tensoactivo que actúa modificando la tensión superficial disminuyendo la fuerza de adhesión de las partículas (mugre) a una superficie; por fosfatos que tienen un efecto ablandador del agua y flocculan y emulsionan a las partículas de mugre, y algún otro componente que actúe como solubilizante, blanqueador, bactericida, perfumes, abrillantadores ópticos (tinturas que dan a la ropa el aspecto de limpieza), etc. (ATSDR, 2008).

Los detergentes determinados como sustancias activas al azul de metileno (SAAM), son un excelente indicador de calidad para el agua de consumo humano. Cuando éstos son detectados en suministros de abastecimiento, las medidas correctivas deben ser inmediatas, dado que la presencia de los detergentes en el agua de suministro es indeseable desde todo

punto de vista y es indicio de contaminación por aguas residuales ordinarias de tipo doméstico (Alfaro y Salazar, 2005).

En la microcuenca del río Pixquiac se detecta la presencia de detergentes en las tres zonas, pues la descarga de éstos y jabones es una de las actividades antropogénicas constantes en toda la microcuenca, ya que el agua residual es depositada sin tratamiento alguno, a los cuerpos de agua, ya sea porque no existe red de drenaje (zona alta y media), o bien porque éste desemboca en los ríos (zona baja).

De acuerdo a la NMX-AA-039-SCFI-2001, un alto contenido de detergentes en agua puede provocar formación de espuma, toxicidad para la vida acuática y crecimiento desmesurado de la flora acuática por el aporte de fosfatos. En la microcuenca se cuenta con concentraciones de detergentes, que van desde 0.001 mg/L hasta los 0.603 mg/L (ver gráfico A). Se observa un comportamiento muy uniforme entre cada una de las zonas, pues la mayoría de las concentraciones se encuentra entre 0 y 0.2 mg/L, además se presentan valores extremos de 0.4 mg/L y 0.6mg/L en las tres zonas, éstos últimos considerados alarmantes, debido a que rebasan el límite

máximo permisible de acuerdo a la Nom-127 y los criterios ecológicos, el cual es de 0.5 mg/L. Esto se presenta en el gráfico A (ver gráficos 6.16).

Cabe señalar, que la OMS no establece límites máximos permisibles para detergentes, sin embargo menciona que no se debe permitir que la concentración de detergentes en el agua de consumo alcance niveles que ocasionen la formación de espuma o problemas de sabor. La presencia de cualquier detergente puede indicar la contaminación del agua de origen con aguas residuales (OMS, 2006).

Ahora bien, si la mayoría de las concentraciones de detergentes no rebasa el valor límite de acuerdo a la Nom-127 y los criterios ecológicos, no debe pasarse por alto la presencia de éstos, pues como ya se mencionó son indeseables para los suministros de abastecimiento de agua, además de que para las localidades que obtienen el agua de consumo directamente de los cuerpos de agua, representa un riesgo a la salud, ya que están ingiriendo agua sin algún tratamiento que elimine por completo los detergentes, simplemente con el que le dan en los hogares, ya sea ebullición o cloración.

En lo que se refiere a las estaciones del año, se presenta en el gráfico B (ver gráficos 6.16), que a pesar de presentarse algunos valores altos en la época de estiaje que van de 0.37 a 0.4054 mg/L, fue en el otoño, estación en la que generalmente llueve más, donde se registraron varios valores por encima de los 0.2 mg/L, esto en la zona alta; así mismo, fue en esta estación que se obtuvieron las mayores concentraciones en todos los años, las cuales fueron de 0.6025 mg/L.

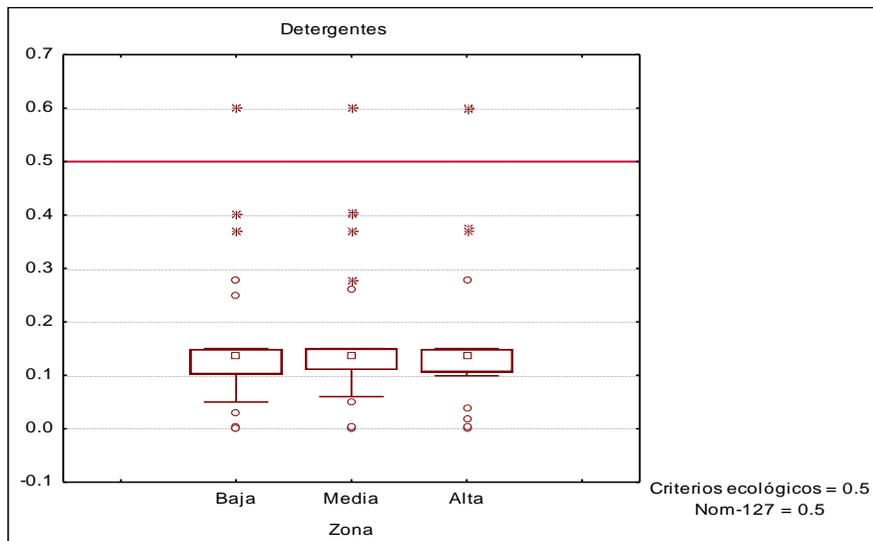
Con respecto a los periodos de tiempo, debido a que se cuenta con información de los ocho años, es posible visualizar de mejor forma el comportamiento de los detergentes con el paso del tiempo. Así pues, se contempla un aumento de éstos en el año 2007, durante el cual se alcanzaron las concentraciones más altas en todos los años, siendo la mayor de 0.6025 mg/L, además, el 2007 también presentó la mayor desviación estándar, con valores entre los 0.03 y 0.6025 mg/L, es decir, hubo una mayor dispersión de los datos. Para el año 2008, la desviación estándar fue más uniforme, y a partir de éste año, la cantidad de detergentes se mantuvo estable, situándose para los años del 2009 al 2012 con valores entre 0.1 y 0.2 mg/L,

a excepción de la zona alta en el 2009, que presentó una mayor desviación estándar, con un rango de 0.12 a 0.60 mg/L.

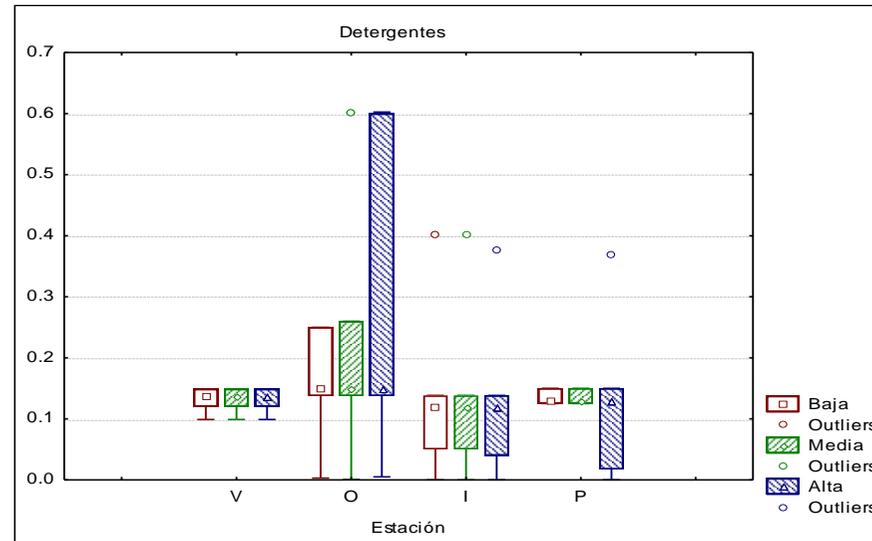
Por último, es preciso comentar que deben tomarse medidas respecto al uso de jabones y detergentes en toda la microcuenca, pues la cantidad de éstos ha ido en aumento y pueden poner en riesgo a la salud de los habitantes que obtienen agua directamente de los ríos, si los niveles de dichas sustancias llegaran a aumentar drásticamente.

Resultados de detergentes de los años 2005 al 2012.

A



B



C

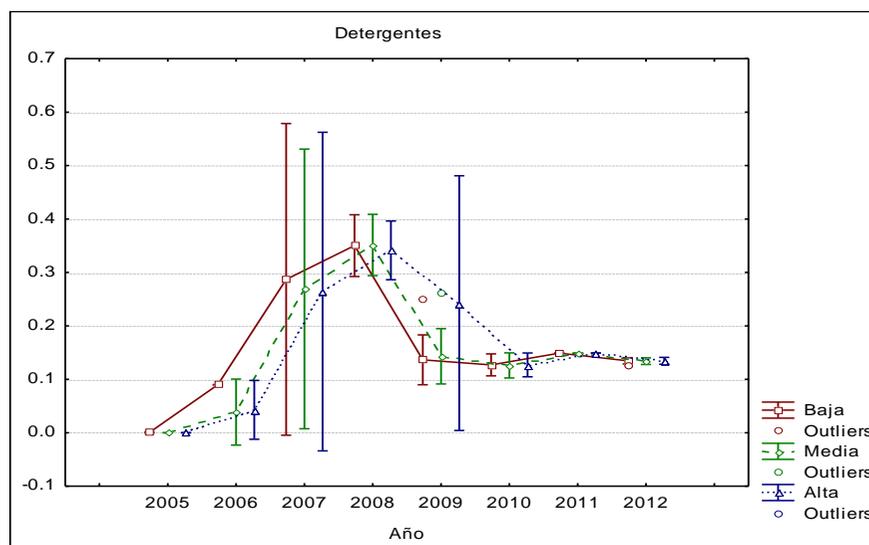


Gráfico 6.16 Análisis estadístico de detergentes en la microcuenca del río Pixquiác. **A**, análisis por zonas y límites máximos permisibles; **B**, análisis por estaciones del año y; **C**, análisis temporal. **Fuente:** Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

6.2.1.5 Nitratos y nitritos

Los nitratos (NO_3) y nitritos (NO_2) son iones inorgánicos de origen natural, y que forman parte del ciclo del nitrógeno. Los nitratos y nitritos se producen en el suelo, en el agua, y en algunos alimentos. El nitrito se oxida fácilmente en nitrato, por lo tanto el nitrato se produce con mayor frecuencia en las aguas subterráneas y las aguas superficiales (ATSDR, 2011).

Entre las principales causas antropogénicas que generan la presencia de estos compuestos en los cuerpos de agua, destacan la aplicación excesiva de fertilizantes, o bien la filtración de aguas residuales u otros residuos orgánicos a las aguas superficiales y subterráneas (OMS, 2006). Los fertilizantes que contienen nitrógeno llegan a las corrientes superficiales por escorrentía (por ejemplo, nitrato de potasio y nitrato de amonio). En consecuencia, al beber agua o comer alimentos de las áreas que contienen los fertilizantes a base de nitrógeno, las personas podrían estar expuestas a altos niveles de nitratos y nitritos (ATSDR, 2011).

Por lo anterior, se identifica en la microcuenca la aplicación de agroquímicos (actividad agrícola), como la

principal causante de la presencia de nitratos y nitritos de origen antropogénico, pues se ha detectado que los usuarios del agua utilizan fertilizantes. No obstante, las actividades pecuarias también tienen influencia en la generación de dichas sustancias, debido a que los microbios descomponen los residuos orgánicos de animales y humanos en el suelo y el agua. Este proceso de descomposición convierte los desechos en amoníaco, que a su vez se oxida en nitrito y nitrato (ATSDR, 2011).

A pesar del desarrollo de las actividades agropecuarias en la microcuenca del río Pixquiac, la influencia de éstas sobre la presencia de nitratos y nitritos, no se considera muy significativa, pues en los ocho años se ha presentado uniformidad en las concentraciones de éstos, la cual es más visible en los nitratos, ya que como se verá en el gráfico C (ver gráficos 6.18) los nitritos fluctuaron aún más que los nitratos.

En el gráfico A (ver gráficos 6.17), se muestra que varias de las concentraciones de nitratos en la zona alta son inclusive mayores que en las zonas media y baja, pues oscilan entre los 0.11 y 2.82 mg/L, esto sin tomar en cuenta los valores extremos de estas dos últimas zonas, que van de 5.1 a 9.38 mg/L, por tal motivo, la presencia de nitratos en la zona alta puede deberse a

cuestiones naturales, ya que en es esta zona, de acuerdo a los resultados del factor antrópico, la incidencia de las actividades agropecuarias es mínima en comparación con la media y baja. Lo anterior puede verse más claramente en el gráfico B (ver gráficos 6.17), pues se observa como la zona alta prevalece sobre las otras dos zonas en el otoño y primavera.

En el gráfico B, también se aprecia que algunas de las concentraciones más altas se obtuvieron en el invierno (época de estiaje), por ejemplo, 1.81 mg/L en el sitio Medio Pixquiac de la zona media, en el año 2010 y, 1.547 mg/L en el sitio Cinco Palos de la zona baja, en el año 2008; cabe destacar, que la mayoría de las concentraciones que rebasan los 5 mg/L, el cual es límite máximo permisible de acuerdo a la OMS y los criterios ecológicos, se presentaron durante el otoño de los años 2005 y 2010. En definitiva, la diferencia de concentraciones por estaciones y/o épocas del año para nitratos, no es muy relevante, pues el comportamiento de estos es muy similar entre estaciones, aunque sí puede destacarse que en la zona alta durante la primavera, se alcanzaron las concentraciones más altas de todas las estaciones para dicha zona, 1.06 mg/L en el año 2011, y 2.82 mg/L en el 2005.

Por último, en el gráfico C (ver gráficos 6.17), se puede contemplar notoriamente la linealidad del comportamiento de nitratos, pues no se presentaron cambios bruscos de la cantidad de éstos en las aguas superficiales. Sin embargo, se presentaron años con mayor desviación estándar, es decir, mayor dispersión de las concentraciones, tal es el caso del 2005, 2007 y 2010, principalmente para la zona baja; de hecho es en el 2010, cuando se registra el valor más alto para los ocho años y los cinco sitios de muestreo, el cual fue de 9.380 mg/L.

Con relación a los nitritos, se observa con mayor precisión la diferencia entre las tres zonas, principalmente la zona baja en comparación con las zonas media y alta, pues la concentración de nitritos en estas dos últimas es muy semejante, la mayoría de las concentraciones se encuentran por debajo de 0.01 mg/L, mientras que en la zona baja, se registraron algunas concentraciones por encima de 0.01 mg/L, entre las que destaca la máxima alcanzada que es de 0.24 mg/L (ver gráfico A, gráficos 6.18).

En el gráfico B (ver gráficos 6.18), se puede ver de forma más detallada, que en la zona baja fue durante el otoño y la primavera que la concentración de nitritos aumentó, ya que se registraron concentraciones que superaron los 0.0065 mg/L, especialmente la primavera, donde se percibe un cambio radical, pues se tiene concentraciones superiores a los 0.012 mg/L, además, en esta estación se registró la máxima alcanzada, que fue 0.24 mg/L, en el sitio Cinco Palos de la zona baja, en el año 2007; para el resto de las estaciones, la cantidad de nitritos en las corrientes superficiales es muy similar entre zonas, pues durante el verano, las concentraciones de nitritos no excedieron los 0.004 mg/L, y en el invierno, se mantuvieron en un rango que oscila entre los 0.002 y 0.008 mg/L, con excepción del outlier en la zona baja, que fue de 0.013 mg/L.

Es imprescindible destacar que durante el otoño, también se obtuvieron concentraciones altas, que van de 0.002 a 0.012 mg/L, existiendo uniformidad en las tres zonas de la microcuenca. Ahora bien, respecto a los periodos de tiempo, evidentemente es en el año 2007, que se detecta la concentración más alta, de hecho, es el único muestreo del cual se tiene registro para ese año, por lo tanto, se puede decir, que

es el año 2008 donde se presenta mayor dispersión de las concentraciones de nitritos, pues éstos resultaron elevados en las tres zonas de la microcuenca, con valores de 0.08 y 0.24 mg/L, mismos que excedieron los límites máximos permisibles. A partir del 2009 y hasta el 2012, el comportamiento de los nitritos fue de manera uniforme, y sus concentraciones se mantuvieron con valores muy cercanos a los 0 mg/L (ver gráfico C, gráficos 6.18).

De acuerdo a la normatividad, la mayoría de nitratos y nitritos se encuentran dentro del rango aceptable, pues tan sólo el 3.92% de las muestras de éstos rebasaron los límites máximos permisibles. Para nitratos, la OMS y los criterios ecológicos, establecen un valor de 5 mg/L, el cual fue rebasado únicamente en cinco ocasiones y, para nitritos la Nom-127 y los criterios ecológicos, establecen 0.05 mg/L, el cual fue excedido en cuatro ocasiones. Por su parte la EPA, ha establecido un estándar exigible llamado un nivel máximo de contaminante (MCL) para los nitratos en 10 mg/L y de los nitritos a 1 mg/L en el agua potable (ATSDR, 2011), valores que incluso permiten mayor cantidad de nitratos y nitritos.

Sin embargo, es importante que se continúe monitoreando la presencia de nitratos y nitritos en las corrientes superficiales, aunque éstos se encuentren en un rango permisible, pues de acuerdo con Heathwaite *et al.*, (1996), citado en Alfaro y Salazar (2005), la contaminación del agua de bebida con nitratos y nitritos es un fenómeno conocido que tiene efectos adversos en la salud animal y humana, aseguran que la cantidad presente dependerá del balance entre la cantidad de N aplicada como fertilizante, reciclaje o fijación biológica, la deposición atmosférica y la extracción de las plantas. Altas concentraciones de nitratos y nitritos, pueden causar metahemoglobinemia adquirida aguda, una condición de salud grave; la metahemoglobinemia es en realidad un exceso de metahemoglobina en la sangre, la cual es un tipo de hemoglobina que cuenta con grupo hemo con hierro en estado férrico, Fe (III) (es decir, oxidado).

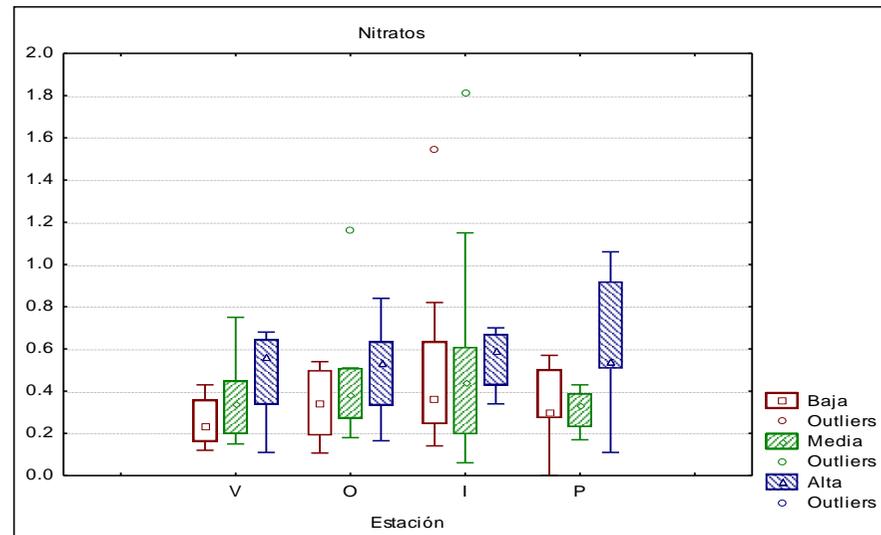
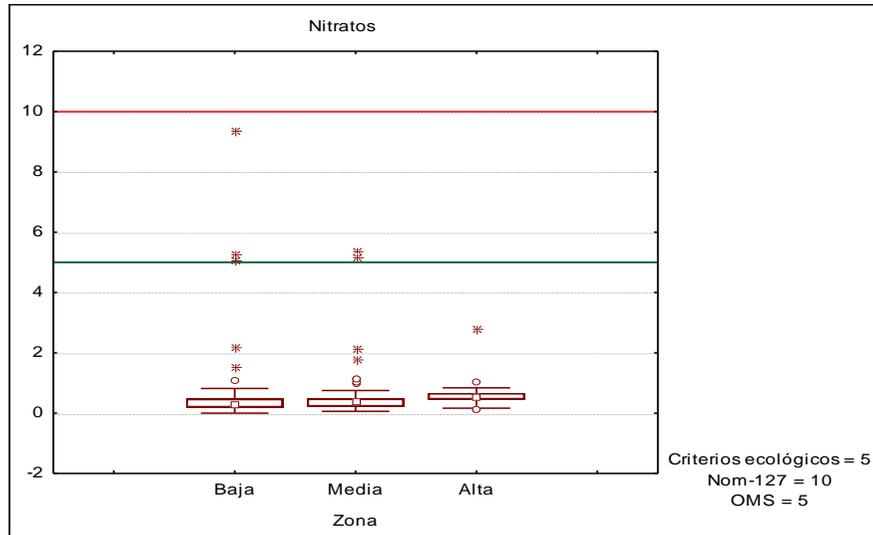
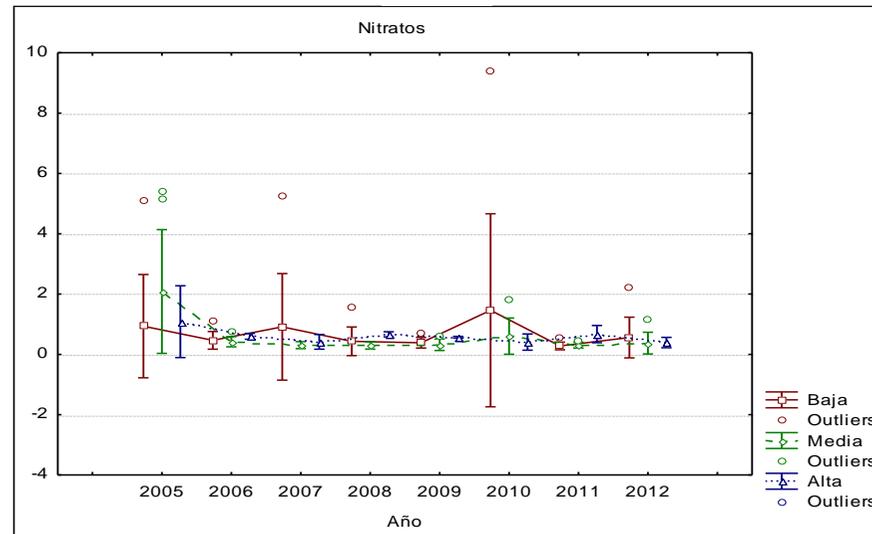
A**Resultados de nitratos de los años 2005 al 2012.****B****C**

Gráfico 6.17 Análisis estadístico de nitratos en la microcuenca del río Pixquiác. **A**, análisis por zonas y límites máximos permisibles; **B**, análisis por estaciones del año y; **C**, análisis temporal. **Fuente:** Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

Resultados de nitritos de los años 2005 al 2012.

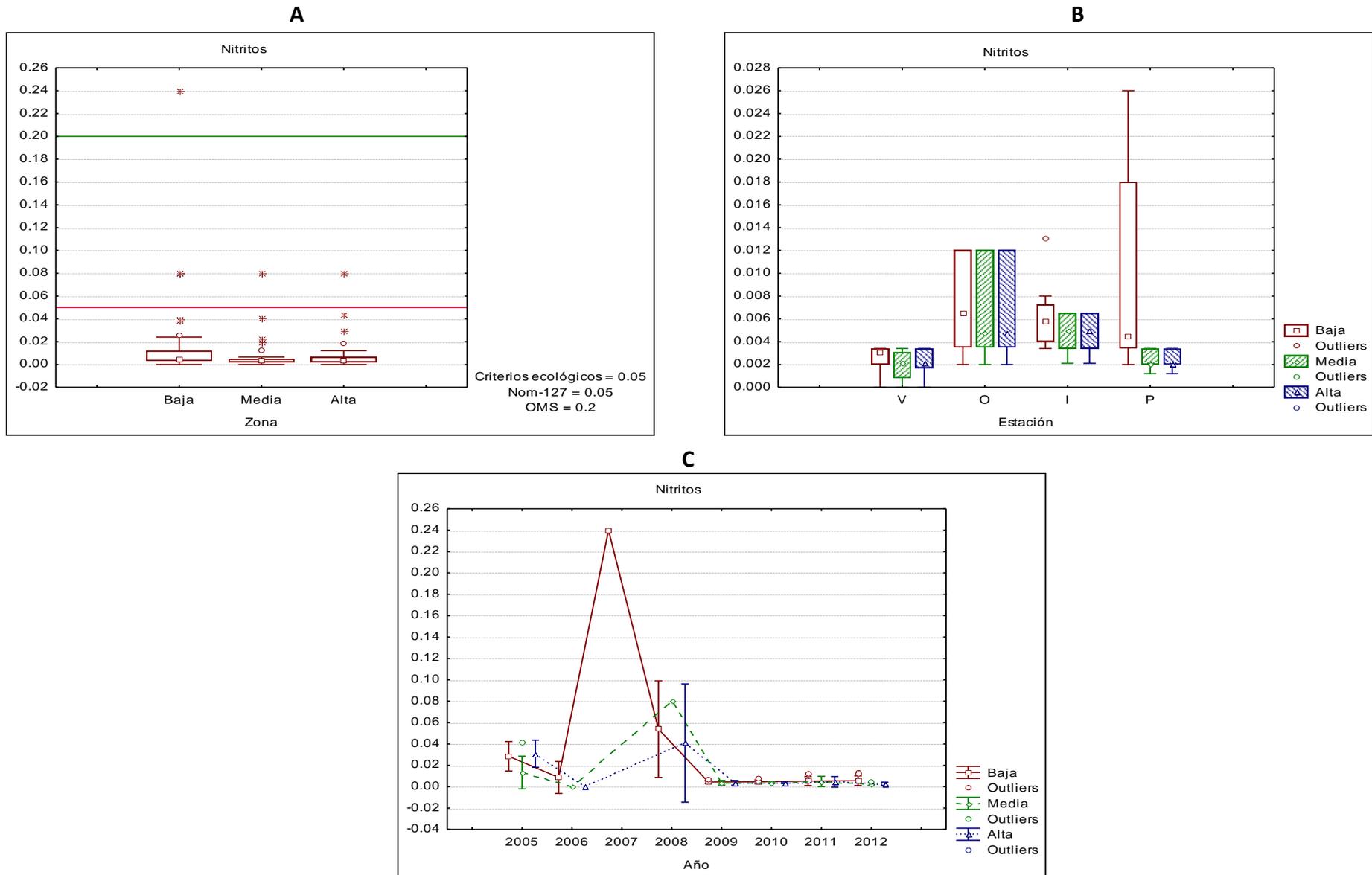


Gráfico 6.18 Análisis estadístico de nitritos en la microcuenca del río Pixquiaca. **A**, análisis por zonas y límites máximos permisibles; **B**, análisis por estaciones del año y; **C**, análisis temporal. **Fuente:** Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

6.2.2 Metales pesados

6.2.2.1 Arsénico

El arsénico es un elemento ampliamente distribuido en la corteza terrestre. En el ambiente el arsénico generalmente se encuentra combinado con otros elementos como por ejemplo oxígeno, cloro y azufre. El cual, combinado con estos elementos se conoce como arsénico inorgánico. El arsénico combinado con carbono e hidrógeno se denomina arsénico orgánico. La mayoría de los compuestos inorgánicos y orgánicos de arsénico son polvos de color blanco que no se evaporan, no tienen olor y la mayoría no tiene ningún sabor especial. Por esta razón, generalmente no se puede saber si están presentes en los alimentos, el agua o el aire. El arsénico inorgánico ocurre naturalmente en el suelo y en muchos tipos de rocas, especialmente en minerales que contienen cobre o plomo. Las erupciones volcánicas constituyen otra fuente de arsénico (ATSDR, 2007).

Entre los factores de carácter antropogénico que originan la presencia de este elemento destacan el uso de las aleaciones de arsénico en baterías para automóviles, los compuestos de arsénico se emplean también como semiconductores y en diodos que emiten luz. Este metal también está asociado con minerales que se minan para la extracción de algunos metales, como por ejemplo cobre y plomo, y puede entrar al ambiente cuando se extraen o funden estos minerales. La minería también es otra de las actividades responsables de dicho metal (ATSDR, 2007).

Sin embargo, a pesar de la gran influencia que tienen dichas actividades sobre la aparición de arsénico en suelos o cuerpos de agua en la microcuenca del río Pixquiac, la presencia de este elemento pudiese deberse a causas naturales, pues no se tiene registro de actividades antropogénicas altamente contaminantes de arsénico. Esto se puede constatar en el gráfico A (ver gráficos 6.19), donde se observa que la presencia de arsénico en la microcuenca existe desde la zona alta, región en la que el factor antrópico no tiene mucha incidencia, además las concentraciones se expresan de manera muy similar para las tres zonas, las cuales oscilan entre

0.01 y 0.04 mg/L, con excepción del valor extremo de 0.2 mg/L, no obstante, se puede ver que la zona media muestra un ligero incremento de la cantidad de arsénico en el agua, alcanzando concentraciones de 0.03 mg/L; y es en esta misma zona, que se presenta la concentración máxima alcanzada, 0.2 mg/L, la cual rebasa los 0.05 mg/L, valor establecido como límite por la Nom-127 y los criterios ecológicos. Sin embargo, la OMS fija como límite máximo permisible 0.01 mg/L, lo que coloca a casi todas las concentraciones de arsénico ya sea justo en el límite permitido o por encima de éste, pues casi todas las muestras obtenidas durante los 6 años que se tiene registro, arrojan valores de 0.01 y 0.02 mg/L.

De acuerdo a la ATSDR (2007), generalmente la concentración de arsénico en agua de superficie o subterránea es aproximadamente 0.001 ppm, lo que es igual a 0.001mg/L, pero puede exceder 1 mg/L en áreas de minería o donde los niveles de arsénico en el suelo son naturalmente elevados; cabe señalar que esta actividad no se realiza en la microcuenca.

Debido a los niveles de arsénico que se han detectado en las fuentes hídricas de la microcuenca, existe la probabilidad de

riesgo para los habitantes aledaños a las corrientes superficiales y que obtienen el agua directamente de éstas, pues con el tratamiento que le dan en el hogar, no se lleva a cabo la remoción de metales pesados. La EPA por ejemplo, en enero del año 2001, redujo el límite para el arsénico en el agua potable de 0.05 a 0.01 mg/L, mismo valor que establece la OMS, y que además se excede en repetidas ocasiones, lo que puede poner en riesgo a la salud de los habitantes de la microcuenca.

La ATSDR (2007), menciona que si se ingieren niveles de arsénico entre 0.3 y 30 mg/L en el agua; 100 a 1,000 veces mayores que la mayoría de los niveles en el agua potable, puede causar irritación del estómago y los intestinos, acompañado de dolor de estómago, náusea, vómitos y diarrea. Otras de las afectaciones a la salud que pueden presentarse son alteraciones gastrointestinales, cardiovasculares, nerviosas, renales y hepáticas (Menchaca *et al.*, 2014).

Además, se ha diagnosticado que ingerir arsénico aumenta el riesgo de desarrollar cáncer del hígado, la vejiga y los pulmones, éste último, principalmente por inhalación de arsénico inorgánico. De acuerdo a la Agencia Internacional para

la Investigación del Cáncer (*IARC*), el arsénico inorgánico es carcinogénico en seres humanos (*ATSDR*, 2007). Por ello, es importante que los tomadores de decisiones actúen inmediatamente, de tal manera que intervengan con propuestas de mejora para quienes no cuentan con suministros de agua potable, tal es el caso de varios núcleos rurales de población asentados en la microcuenca. Además, que las plantas potabilizadoras realicen de manera periódica los muestreos de las fuentes naturales de suministro, garantizando a la población que los recursos hídricos son aptos para consumo humano, y que cualquier sustancia química o microorganismos perniciosos para la salud sean eliminados durante el tratamiento del recurso.

Con respecto a las estaciones del año, no existe variabilidad significativa, pues las concentraciones de arsénico son en su mayoría de 0.01 y 0.02 mg/L, no obstante, se registraron dos incrementos para la zona media durante la época de estiaje, uno en primavera y otro en otoño, ambos con una concentración de 0.03 mg/L (ver gráfico B, gráficos 6.19). Finalmente, en el gráfico C (ver gráficos 6.19), se puede notar que existe mayor dispersión en el año 2009, debido a que en dicho año, se registró la concentración máxima alcanzada, que

fue de 0.2 mg/L, durante el verano en el sitio de muestreo Agua Fría, ubicado en la zona media. Durante los siguientes años del 2010 al 2012, los niveles de arsénico en el agua se mantuvieron casi estables, en un rango que va de 0.01 a 0.03 mg/L.

A Resultados de arsénico de los años 2007 al 2012. B

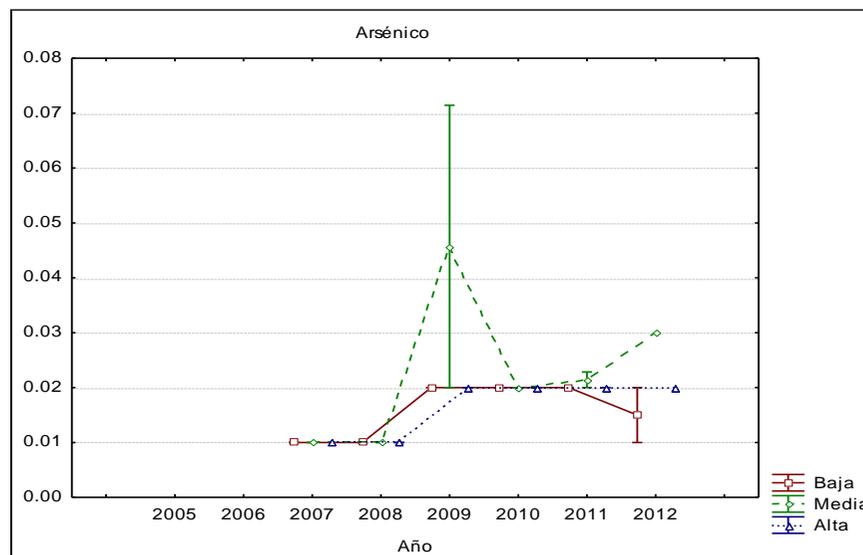
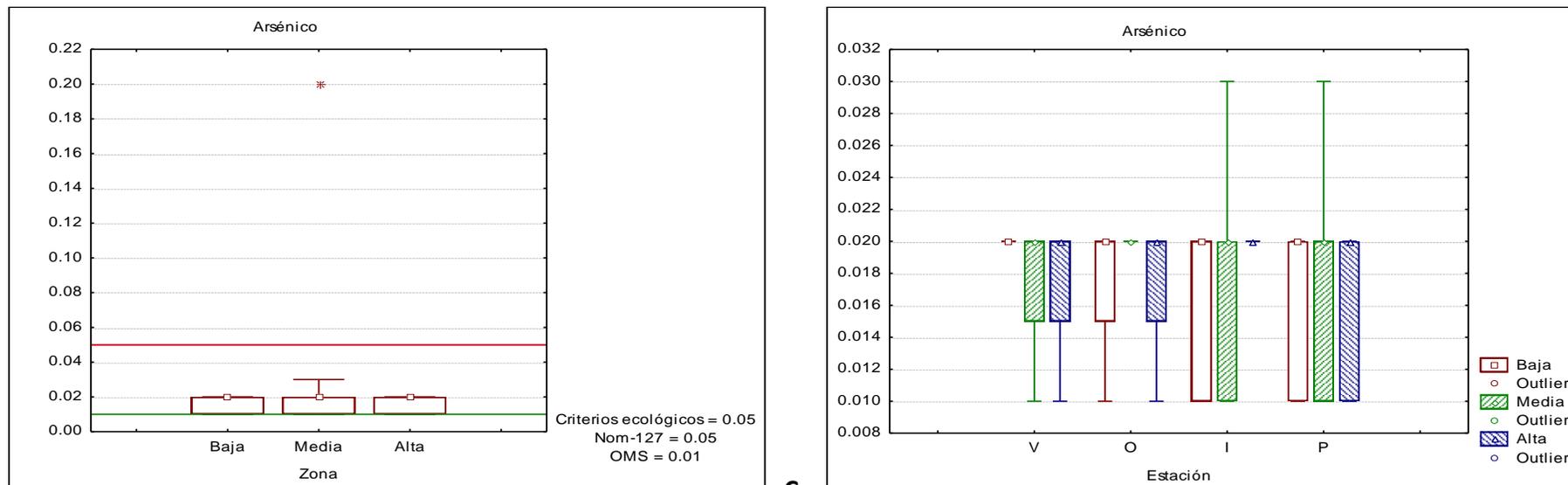


Gráfico 6.19 Análisis estadístico de arsénico en la microcuenca del río Pixquiác. **A**, análisis por zonas y límites máximos permisibles; **B**, análisis por estaciones del año y; **C**, análisis temporal. **Fuente:** Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

6.2.2.2 Plomo

El plomo es un metal pesado de baja temperatura de fusión, de color gris-azulado que ocurre naturalmente en la corteza terrestre. Sin embargo, raramente se encuentra en la naturaleza en la forma de metal, generalmente se encuentra combinado con otros dos o más elementos formando compuestos de plomo (ATSDR, 2007).

El plomo se encuentra en el ambiente en forma natural, no obstante, la mayoría de los niveles altos que se encuentran en el ambiente se originan de actividades humanas, principalmente en el uso de la gasolina y baterías para automóviles y otros vehículos. Entre las fuentes primordiales de plomo en el agua superficial o en sedimentos, están la deposición de polvo que contiene plomo desde la atmósfera, el agua residual de industrias que manejan este metal (principalmente las industrias de hierro y acero y las que manufacturan plomo), agua de escorrentía en centros urbanos, liberaciones desde minas de plomo y otros metales y apilamientos de minerales (ATSDR, 2007). Sin embargo, en la microcuenca de estudio

no se han detectado o no se cuenta con información suficiente sobre la presencia de algún tipo de actividades descritas anteriormente y, que representen peligros latentes sobre la generación de elevadas cantidades de plomo en el agua.

Bajo este escenario, se considera apremiante determinar si existe algún factor de carácter antropogénico que pueda estar incidiendo en la presencia de plomo, o si simplemente se debe a cuestiones naturales que están relacionadas con las condiciones geográficas del lugar. Así mismo, deben realizarse muestreos de la cantidad de plomo en el agua de manera constante, ya que lamentablemente el organismo municipal encargado de dicha tarea, no efectúa esta labor como debiera ser, pues de los 160 muestreos para los cinco sitios contemplados en el presente estudio, únicamente se tiene el registro de 31, lo que representa el 19.4% del total de datos.

Lo anterior se considera pertinente, ya que los muestreos de los cuales se cuenta con información, arrojan concentraciones que sobrepasan los 0.01 mg/L, y que

incluso alcanzan valores de hasta 0.1 mg/L, cuando se supone que las fuentes naturales de agua usadas como suministro de agua potable contiene menos de 0.005 mg/L de plomo. Esta situación se considera alarmante para los habitantes que toman agua directamente de los cuerpos de agua, ya que están expuestos a ingerir altas concentraciones de plomo que pudiesen dañar su organismo. De igual manera, el riesgo se presenta para la población urbana, pues de no ser removidos o reducidos los niveles de plomo en el agua durante su tratamiento, puede aumentarse el riesgo de intoxicación por plomo. Además, el plomo no se puede ver ni oler o detectar el sabor de éste en el agua, y hervir el agua no elimina al plomo (ATSDR, 2007).

Otros riesgos para la población, son por ejemplo, el agua potable en viviendas que tienen tuberías de plomo, pues la concentración de éste puede aumentar, y más aún si el agua es ácida o “blanda”, debido a que el agua ácida facilita que el plomo en las tuberías, en soldaduras de plomo y en grifos de bronce entre al agua utilizada para bebida (ATSDR, 2007). Organismos como la EPA,

consideran imprescindible que se analicen los sistemas de suministro de agua públicos, y si más del 10% de las muestras contienen más de 0.015 mg/L, deben tomarse medidas necesarias para rebajar estos niveles. Del total de muestras de plomo que se tienen para los cinco sitios de muestreo en la microcuenca, 8 de éstas rebasan el límite establecido por la EPA, lo que representa un 25.80% de las muestras, es decir, más del 10%, por lo que urge se tomen medidas al respecto.

Los criterios ecológicos establecen como límite máximo permisible 0.05 mg/L, mientras que la OMS y la Nom-127, definen un valor límite de 0.01 mg/L, el cuál es más similar al establecido por la EPA. En el gráfico A (ver gráficos 6.20), se aprecia como la mayoría de los valores están justo en el límite de lo permitido de acuerdo a la Nom-127 y la OMS, o por encima de éste, sólo el 22.58% de las muestras, es decir, 7 de 31, no rebasan los 0.01 mg/L. Se observa también, que la cantidad de plomo no es muy variable por zonas, de hecho, cada una de éstas presenta valores extremos de 0.1 mg/L, el cual es el máximo alcanzado en todos los muestreos, la zona media registra

un extremo más de 0.031 mg/L durante el verano del 2012 en el sitio Medio Pixquiac, y la zona baja un valor fuera de rango de 0.03 mg/L en el otoño del 2005, en el sitio Socoyolapan; el valor más bajo se presentó en la zona baja, y fue de 0 mg/L.

Al contar con pocos datos, no es muy visible el comportamiento del plomo en relación a las épocas y/o estaciones del año, pero si se aprecia que los valores extremos y a su vez los más altos, que son de 0.1 mg/L, se obtuvieron en el otoño. También se observa, que en la primavera destaca más la zona alta, debido a que en este periodo se detectó un valor de 0.02 mg/L en el año 2012 (ver gráfico B, gráficos 6.20). Ahora bien, respecto a la temporalidad se cuenta con datos únicamente de los años 2009, 2011 y 2012, pues para el 2005 y 2006 se tiene un solo valor para cada año, por lo cual, es difícil inferir sobre la conducta del plomo a través del tiempo, es decir, si los niveles de dicho metal, se han mantenido iguales durante los ochos años, o si se han presentado incrementos o disminuciones de las concentraciones de plomo en los cuerpos de agua de la microcuenca. Aun así se observa

que fue el año 2009 en el cual se presentaron los valores extremos de 0.1 mg/L, uno en cada una de las zonas (ver gráfico C, gráficos 6.20); de hecho, para dicho año se cuenta con un solo muestreo para cada zona, a excepción de la baja, donde se tienen dos muestreos con una concentración de 0.1 mg/L cada uno, uno en Socoyolapan y otro en Cinco Palos, es decir, se registraron valores idénticos en los dos sitios de muestreo de esta zona.

A pesar de que la *EPA* y el *IARC*, han determinado que el plomo es probablemente carcinogénico en humanos, no se ha demostrado definitivamente que este metal produce cáncer (ATSDR, 2007).

Resultados de plomo de los años 2005, 2006, 2009, 2011 y 2012.

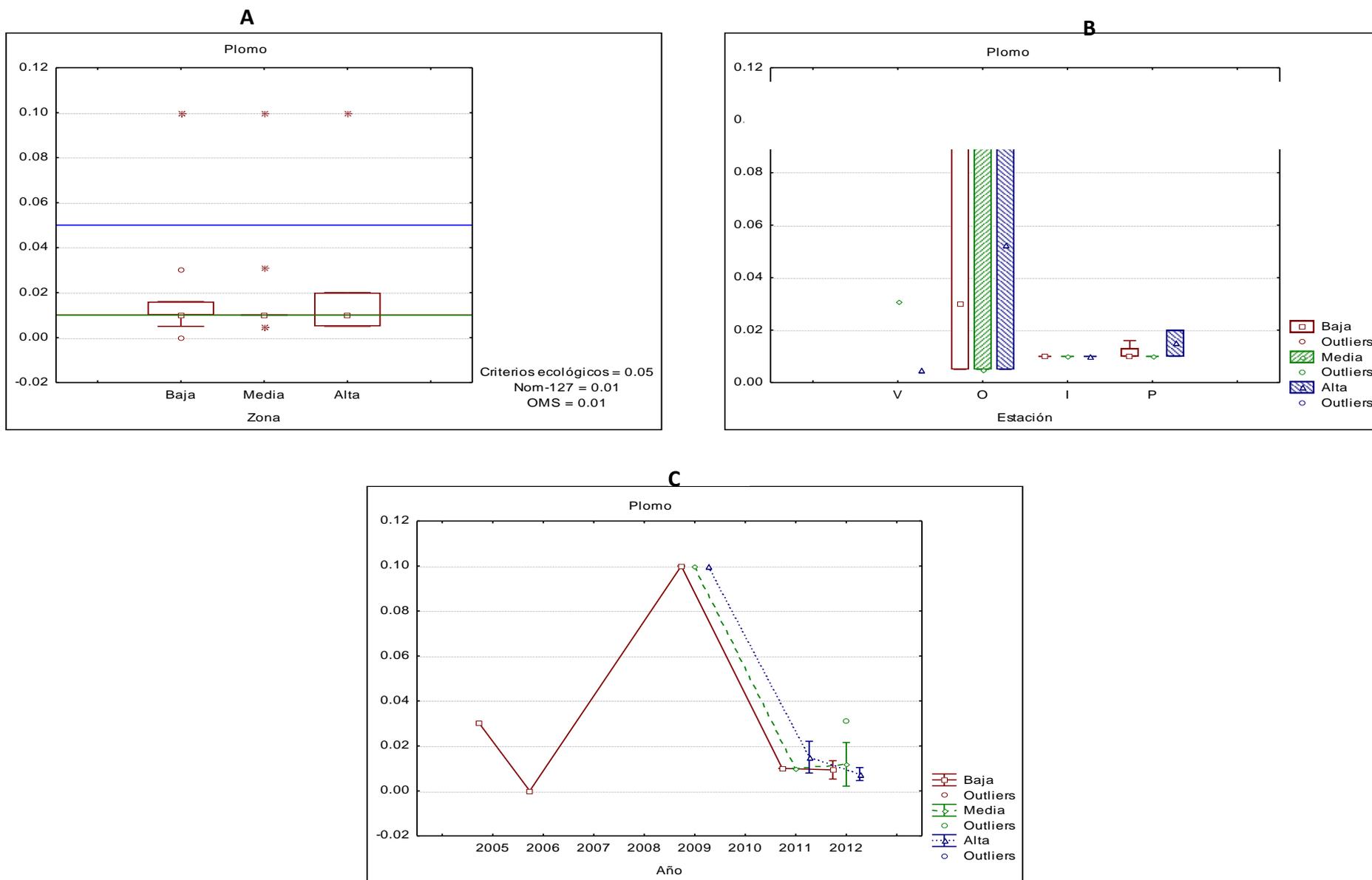


Gráfico6.20 Análisis estadístico de plomo en la microcuenca del río Pixquiac. **A**, análisis por zonas y límites máximos permisibles; **B**, análisis por estaciones del año y; **C**, análisis temporal. **Fuente:** *Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.*

6.2.2.2 Cadmio

El cadmio es un elemento natural de la corteza terrestre que generalmente se encuentra como mineral combinado con otros elementos tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio) o azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio). Todos los suelos y rocas, incluso el carbón y abonos minerales, contienen algo de cadmio (ATSDR, 2012).

Se pueden detectar niveles altos de cadmio en suministros de agua cerca de industrias que liberan cadmio. Generalmente el cadmio es liberado al suelo, al agua y al aire durante la extracción y refinación de metales no ferrosos, la manufactura y aplicación de abonos de fosfato, la combustión de combustibles fósiles, y la disposición e incineración de basura. El cadmio puede acumularse en organismos acuáticos y en cosechas agrícolas. Las formas de cadmio solubles se movilizan en el agua y las formas

insolubles son inmóviles y se depositan en el sedimento donde son adsorbidas (ATSDR, 2012).

En la microcuenca se han detectado altas concentraciones de cadmio presentes desde la zona alta, esto se puede ver en el gráfico A (ver gráficos 6.21), donde se han detectado concentraciones de 0.025 mg/L en las tres zonas de la microcuenca, y hasta un valor de 0.031 mg/L en la zona baja. Estas concentraciones se encuentran muy por encima de los límites permitidos de acuerdo a la normatividad, ya que los criterios ecológicos, establecen como límite 0.01 mg/L, la Nom-127, 0.005 mg/L y la OMS 0.003 mg/L. Al respecto, la EPA menciona que para la exposición de por vida, se estima que concentraciones de cadmio de hasta 0.005 mg/L no causará efectos adversos. Respecto al agua embotellada, la FDA ha determinado que los niveles de cadmio no deben exceder 0.005 mg/L.

Como se mencionó anteriormente, se presentan altas concentraciones de cadmio en la microcuenca del río Pixquiac, lo cual es preocupante, pues este metal no es removido a través de los tratamientos que pudiesen darle

los habitantes que obtienen el recurso directamente de las corrientes superficiales, ya sea hervir el agua o clorarla. Además, las altas cantidades de cadmio pueden representar riesgos o dificultades durante el tratamiento de potabilización del agua, de acuerdo a la Nom-127, el límite es de 0.005 mg/L, el cual lo sobrepasan el 29.62% de las muestras que se tienen para el cadmio. Esta situación representa también un riesgo para la población urbana, ya que de no eliminarse el cadmio en su totalidad durante el tratamiento del agua, podría afectar la salud de la población.

Por ello, al igual que el arsénico y plomo, deben monitorearse constantemente las fuentes de agua naturales utilizadas para el abastecimiento de agua a la población. Pero es más apremiante intervenir en las localidades rurales que se abastecen de las corrientes superficiales y únicamente hierven o cloran el agua.

Con relación a las temporadas del año, en el gráfico B (ver gráficos 6.21), se observa que las concentraciones más altas para las tres zonas se presentaron en el otoño,

con valores de 0.025 mg/L, y en la zona baja de hasta 0.031 mg/L. La zona alta registra elevados niveles de cadmio en casi todas las estaciones, con una concentración de 0.025 mg/L; durante la primavera es que desciende un poco el nivel de cadmio en el agua para esa zona, registrándose una máxima de 0.01 mg/L; en cambio, las zonas media y baja registran elevadas cantidades de cadmio únicamente en el otoño, con concentraciones de 0.025 mg/L; además, fue también durante el otoño, que se registró el valor máximo alcanzado, que fue de 0.031 mg/L y se detectó en la zona baja.

Respecto a los periodos de tiempo, se realizaron muestreos únicamente para los años 2008, 2009, 2011 y 2012. La diferencia entre los dos primeros y los últimos años, es muy visible, pues en el 2008 y 2009 se presentaron los niveles más altos de cadmio, superiores a 0.01 mg/L; tan sólo en el 2008 en las tres zonas de la microcuenca, se excedieron los 0.005 mg/L, límite establecido por la Nom-127. La concentración máxima alcanzada que fue de 0.031 mg/L, se registró en la zona baja en el año 2009. Por lo contrario, los años 2011 y 2012,

presentaron bajos niveles de cadmio, pues casi todas las concentraciones fueron de 0.002 mg/L, mismas que están incluso por debajo del límite máximo permisible de la OMS, que es de 0.003 mg/L (ver gráfico C, gráficos 6.21). Se considera imprescindible mencionar, que durante el año 2009 se detectaron los más altos niveles no sólo de cadmio, sino también de plomo y arsénico (metales pesados).

Debido a que los muestreos fueron realizados solamente en cuatro años, es muy difícil inferir acerca del comportamiento del cadmio, ya sea que las concentraciones se incrementen o disminuyan para los próximos años.

Referente a la salud, el cuerpo puede transformar a la mayor parte del cadmio a una forma que no es perjudicial, sin embargo, demasiado cadmio puede sobrecargar la capacidad del hígado y los riñones para transformar el cadmio a la forma menos dañina. Ingerir agua con niveles de cadmio muy altos produce irritación grave del estómago, lo que causa vómitos y diarrea y en ciertas ocasiones la muerte. Si se Ingieren niveles de

cadmio más bajos durante un período prolongado puede producir acumulación de cadmio en los riñones, solo se producirá daño del riñón si se llegaran a alcanzar niveles suficientemente altos (ATSDR, 2012).

De acuerdo a la ATSDR (2012), la EPA expresa que el cadmio es probablemente carcinogénico en humanos, mientras que el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), han determinado que el cadmio y los compuestos de cadmio son reconocidos como carcinogénicos en seres humanos.

Resultados de cadmio de los años 2008, 2009, 2011 y 2012.

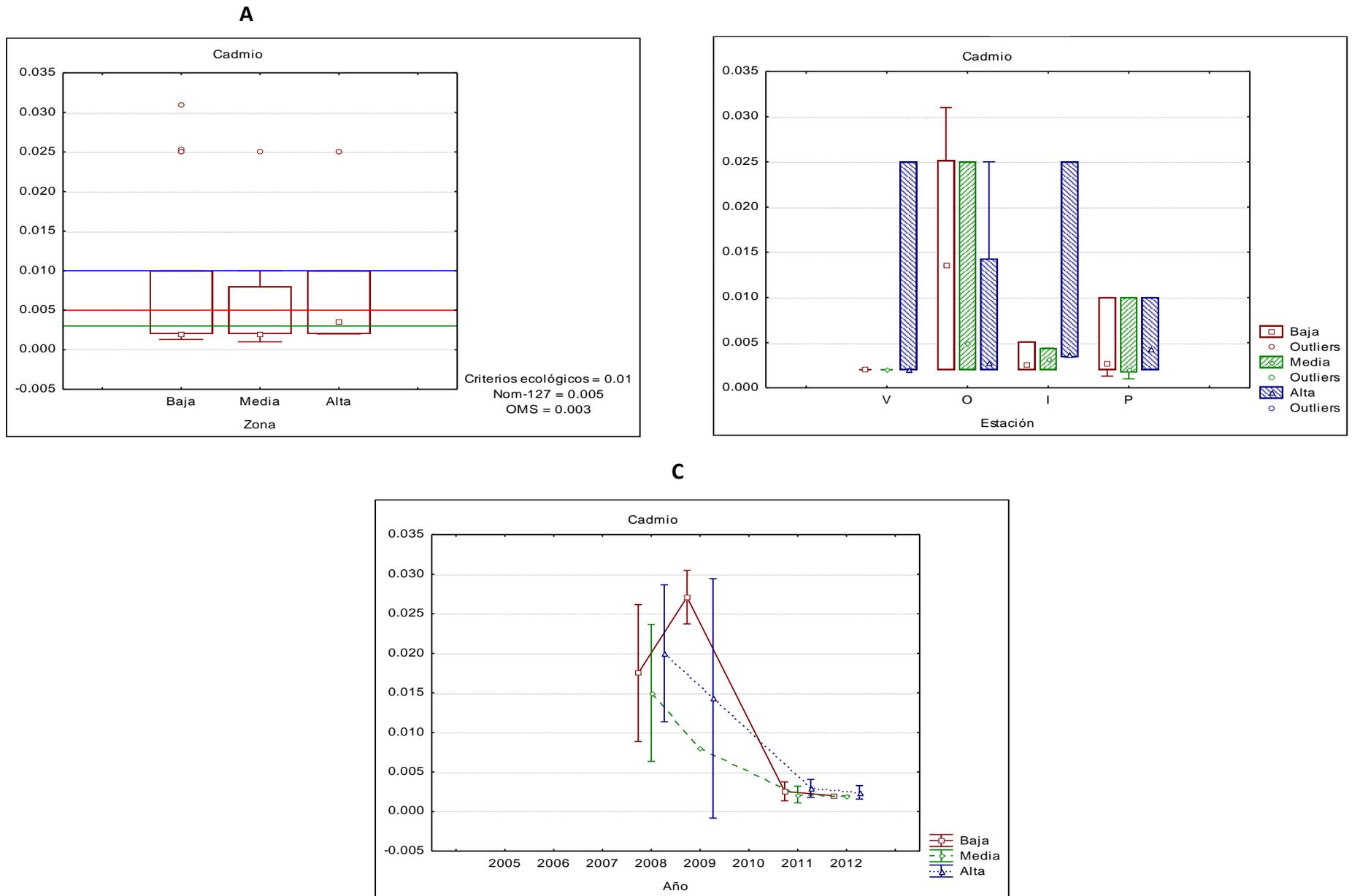


Gráfico 6.21 Análisis estadístico de cadmio en la microcuenca del río Pixquiac. **A**, análisis por zonas y límites máximos permisibles; **B**, análisis por estaciones del año y; **C**, análisis temporal. **Fuente:** *Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.*

6.2.3 Características bacteriológicas

6.2.3.1 Coliformes totales y Coliformes fecales

La contaminación fecal de las aguas superficiales que sirven como fuente de abastecimiento es uno de los problemas más preocupantes en los países en vías de desarrollo, esta contaminación se debe al vertimiento de desagües sin previo tratamiento, hecho que es usual en las grandes ciudades. En las zonas rurales la contaminación se origina en la defecación a campo abierto y a la presencia de animales domésticos y silvestres que actúan como reservorios de agentes patógenos (Arcos, 2005).

En la microcuenca del río Pixquiac, se identifican como posibles actividades causantes de la presencia de coliformes la limpieza del área donde habitan los animales de crianza (actividad pecuaria), descargas de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica y drenaje (actividad doméstica); las heces fecales tanto de animales como de personas son la principal causa de contaminación fecal.

De acuerdo con Arcos (2005), se ha usado el grupo de las bacterias coliformes como indicadores, ya que su detección en el agua es más rápida y sencilla que otras bacterias, tales como las entéricas y patógenas. El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana, debido a que éstos son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente, están presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que éstas.

Así pues, en el presente trabajo de investigación se cuenta con información de los coliformes totales y coliformes fecales, como indicadores bacteriológicos de la calidad del agua, para los ocho años de estudio. Cabe señalar que, de los once indicadores utilizados, los coliformes son los más completos, pues se cuenta con el 96.24% de la información de éstos, es decir, 308 muestreos de 320 que debieron realizarse.

Es importante mencionar cuáles son los microorganismos que conforman el grupo de los coliformes. Los coliformes totales están integrados por *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Edwarsiella* y *Citrobacter*, y viven como saprófitos independientes o como bacterias intestinales, mientras que los coliformes fecales (*Escherichia*) son únicamente de origen intestinal (Canosa, 1995, citado en Arcos, 2005).

En el gráfico A (ver gráficos 6.22), se muestra el comportamiento de los coliformes totales. Se observa cómo el factor antrópico tiene gran influencia sobre la presencia de éstos, ya que el orden en que las actividades pecuarias y domésticas impactan a la calidad del agua es zona baja, media y alta, es decir 24, 15 y 11 impactos respectivamente.

En el mismo gráfico A, se observa también que el valor máximo alcanzado fue de 2,400 NMP/100 ml en la zona baja, para la zona media el máximo fue de 1,100 NMP/100 ml, y para la zona alta 21 NMP/100 ml. Lo

anterior, indica la gran diferencia que existe entre cada una de las zonas de la microcuenca; por otra parte, los valores más pequeños, inferiores a 30 NMP/100 ml y la mayoría de ceros, es decir, ausencia de coliformes, se registraron en la zona alta, la cual es la menos afectada por el factor antrópico.

En el gráfico B (ver gráficos 6.22), se aprecia de una mejor manera la diferencia de coliformes totales entre zonas. La zona baja destaca en las cuatro estaciones con las cantidades más altas de coliformes, pues en varias ocasiones se rebasa 100 NMP/100 ml, mientras que la zona alta se mantiene siempre con valores relativamente bajos, inferiores a 30 NMP/100 ml. La zona media únicamente en el verano alcanzó valores de hasta 210 NMP/100 ml. Con relación a los periodos de tiempo, en el gráfico C (ver gráficos 6.22), se puede ver como sí ha habido un incremento de la cantidad de coliformes totales en la zona baja, pues en los dos últimos años, se registraron coliformes muy por encima de 200 NMP/100 ml; dicha zona, cuenta con servicio de drenaje, por lo que las corrientes superficiales de ésta reciben las descargas directamente sin

tratamiento previo. La zona media presenta variaciones constantes, alcanzándose alto número de coliformes en el año 2012, superiores a 200 NMP/100 ml; el comportamiento de los coliformes en la zona baja es totalmente uniforme, con ausencia y/o valores muy pequeños, que apenas llegan a 21 NMP/100 ml.

Con relación a la normatividad, la OMS (2006), establece que las bacterias coliformes totales no son indicadores aceptables de la calidad sanitaria de los sistemas de abastecimiento de agua, sobre todo en zonas tropicales donde casi todos los sistemas de abastecimiento de agua no tratada contienen numerosas bacterias que constituyen un problema sanitario. La Nom-127 menciona que los coliformes totales deben estar ausentes o no ser detectados en ninguna muestra de 100 ml; en sistemas de abastecimiento de localidades con una población mayor de 50,000 habitantes, estos organismos deberán estar ausentes en el 95% de las muestras tomadas en un mismo sitio de la red de distribución, durante un periodo de doce meses en un mismo año.

Con base a lo anterior, se presenta en la microcuenca un riesgo sanitario tanto para los ciudadanos que habitan cerca de las corrientes superficiales, como para la población urbana en general que es abastecida de dichas fuentes, debido a que se presentan cantidades de coliformes realmente altas y que en su mayoría exceden los límites máximos permisibles.

Para el caso de los coliformes fecales, éstos se comportan muy similarmente a los totales (ver gráfico A, gráficos 6.23), pues la zona con más cantidad de coliformes fecales es la baja, con coliformes que exceden 200 NMP/100 ml, le sigue la media y, por último la zona alta; por lo que se determina que también existe una relación directamente proporcional al factor antrópico.

Resultados de coliformes totales de los años 2005 al 2012.

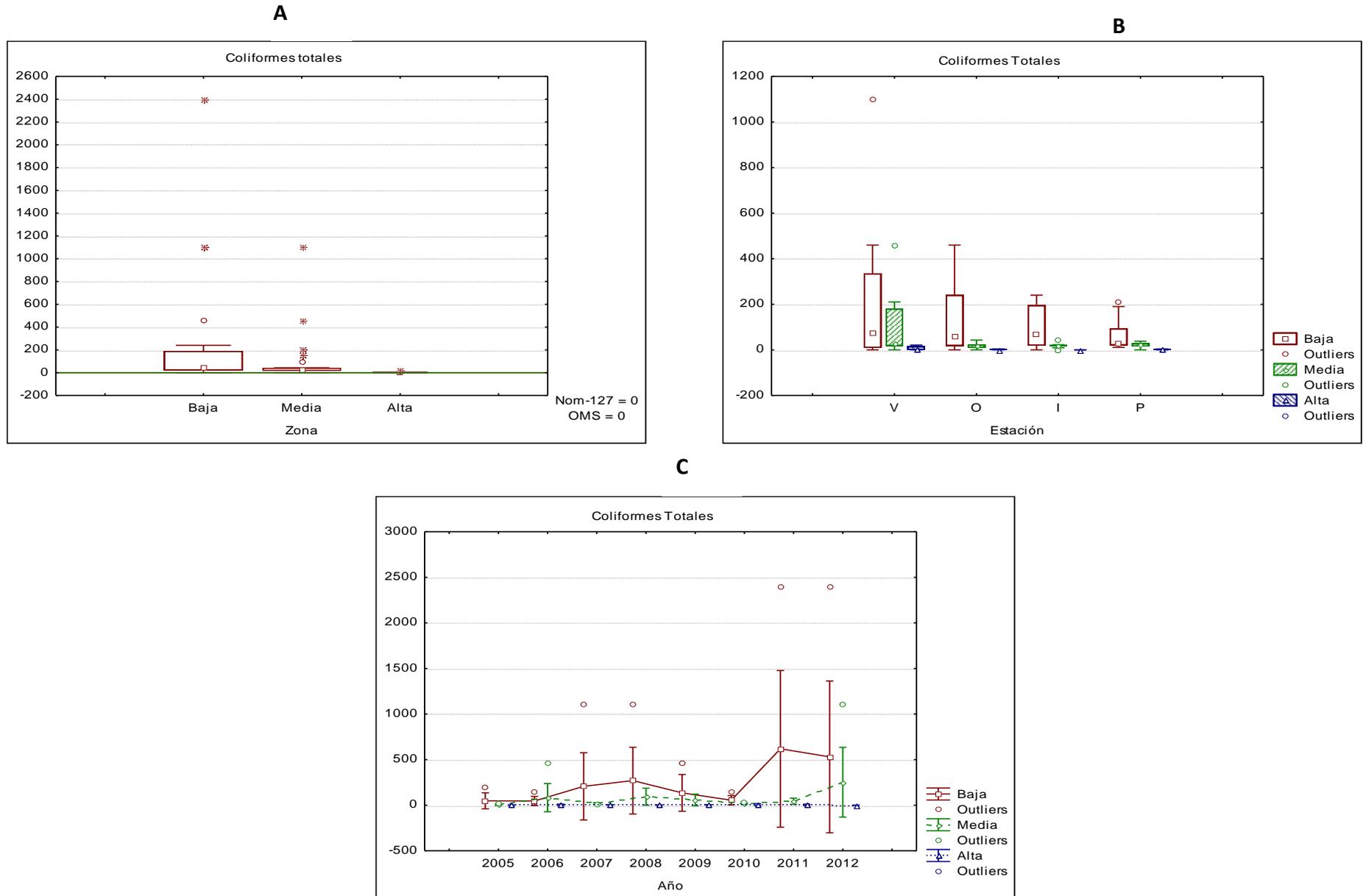


Gráfico 6.22 Análisis estadístico de coliformes totales en la microcuenca del río Pixquiatic. **A**, análisis por zonas y límites máximos permisibles; **B**, análisis por estaciones del año y; **C**, análisis temporal. **Fuente:** *Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.*

El valor más alto registrado fue de 460 NMP/100 ml en la zona baja (ver gráfico A, gráficos 6.23). En el gráfico B, se presenta la cantidad de coliformes fecales por estaciones, se tiene que durante la primavera y el verano se presentaron mayores cantidades de coliformes para las zonas media y baja, mayores a 40 NMP/100 ml. Por su parte la zona alta, registra aumento en el verano, sin embargo en esta zona la diferencia entre estaciones es mínima dado que la mayoría de los valores son de cero. Cabe destacar que durante el verano la cantidad de coliformes en la zona media fue muy similar a la baja, en un rango de cero a 100 NMP/100 ml, a excepción del valor extremo en la zona media que fue de 210 NMP/100 ml.

Finalmente, en el gráfico C (ver gráficos 6.23), se detectan constantes fluctuaciones de la cantidad de coliformes fecales para las zonas media y baja, mismas que presentan un comportamiento muy similar. En cambio en la zona baja, se aprecia uniformidad en el comportamiento de los coliformes, pues en esta zona es donde se registra mayor ausencia de éstos, con valores de cero en casi todos

los muestreos, registrándose como valor máximo alcanzado, 9 NMP/100 ml.

Respecto a la normatividad, los criterios ecológicos establecen que se permite hasta 1000 NMP/100 ml en las fuentes de abastecimiento. Sin embargo, la Nom-127 dictamina que no debe haber presencia o no deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml. La OMS establece el mismo criterio que la Nom-127, ya que la presencia de coliformes fecales en el agua indica un serio problema de contaminación y probables daños a la salud, por lo que la presencia de estos, si bien no representa un gran problema para la población urbana, ya que se prevé que estos sean eliminados durante el tratamiento del agua, sí para la población rural, pues como se ha mencionado reiteradamente, obtienen el agua directamente de las fuentes naturales hídricas.

Es importante mencionar que la presencia de coliformes en el agua indica la contaminación bacteriana reciente y constituye un indicador de degradación de los cuerpos de agua, pues las bacterias del tracto intestinal no

suelen sobrevivir en el medio acuático por mucho tiempo (Fernández *et al.*, 2001 citando en Arcos, 2005).

De acuerdo a Arcos (2005), los agentes patógenos implicados en la transmisión hídrica de enfermedades son las bacterias, virus, protozoos, helmintos y cianobacterias. Estos microorganismos pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad, desde una gastroenteritis simple hasta cuadros graves de diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea. Por su parte Moore (2002), citado en Arcos (2005), menciona que los coliformes fecales pueden ser capaces de generar infecciones oportunistas en el tracto respiratorio superior e inferior, además de bacteremia, infecciones de piel y tejidos blandos, enfermedad diarreica aguda y otras enfermedades severas en el ser humano.

Como se puede ver, los coliformes totales y fecales son responsables de varias de las enfermedades que comúnmente padece la población y que de no ser atendidas oportunamente, podrían causar hasta la muerte. En el siguiente apartado se presenta la segunda variable dependiente que es la salud, la cual es determinada por las diversas enfermedades de transmisión hídrica que

presentan los habitantes de la microcuenca del río Pixquiac, principalmente aquellas transmitidas por microorganismos.

Resultados de coliformes fecales de los años 2005 al 2012.

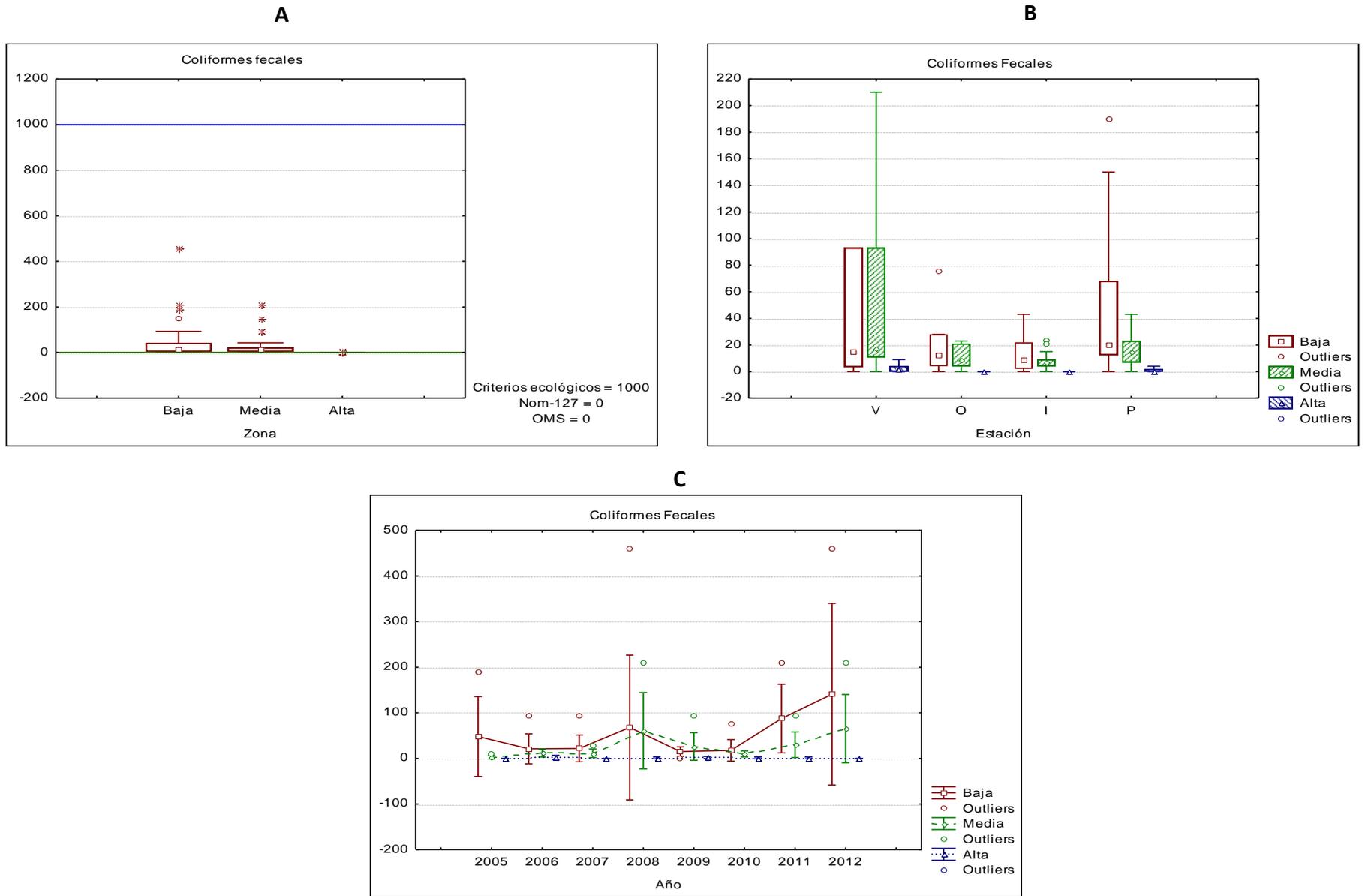


Gráfico 6.23 Análisis estadístico de coliformes fecales en la microcuenca del río Pixquiác. **A**, análisis por zonas y límites máximos permisibles; **B**, análisis por estaciones del año y; **C**, análisis temporal. **Fuente:** *Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.*

6.3. Salud

Anteriormente, se mencionó en el marco teórico la relevancia que posee la eliminación de cualquier material o producto químico que aparezca en el recurso hídrico, antes de ser suministrado a la población, pues la salud puede verse comprometida cuando sustancias químicas, por ejemplo los metales pesados que son altamente tóxicos, bacterias, virus o parásitos perniciosos contaminan el agua potable en la fuente misma, por infiltración del agua de escorrentía contaminada, que es consecuencia de las diversas actividades de los usuarios del agua.

En este sentido, se destaca cómo el factor antrópico influye de manera sustancial en la calidad del agua superficial, lo que a su vez se relaciona directamente con la salud de los habitantes que se abastecen de dicho recurso. Por ello, se designó a la salud como variable dependiente, ya que la calidad de vida de las sociedades, que incluye gozar de buena salud, tendrá sus raíces en el uso adecuado y preservación de los recursos naturales, en este

caso, mantener las fuentes de suministro de agua potable bajo los estándares de calidad del agua.

De esta manera, se analiza si existe relación entre las variables de factor antrópico y calidad del agua, con la salud, ya que se demostró que las actividades antropogénicas, por ejemplo las domésticas y pecuarias, pueden causar de la contaminación por heces, afectando la calidad. La zona menos impactada por dichas actividades y que presenta una mejor calidad del agua es la zona alta; le sigue la media y finalmente la baja, ésta última con el mayor número de impactos y la mayor cantidad de coliformes totales y fecales.

A continuación se establecen los resultados del comportamiento de las enfermedades relacionadas con el agua. Se presentan gráficas de las enfermedades por unidad médica y por años.

A pesar de la incidencia del factor antrópico sobre la calidad del agua, no se puede inferir que la mala calidad de los recursos hídricos sea la causa principal de la presencia

de enfermedades causadas por microorganismos presentes en las heces fecales de animales y personas, pues como se mencionó en el marco metodológico, existen diversos factores que pueden fungir como medio transmisor de dichos microorganismos.

Por ejemplo, para el caso de la Hepatitis aguda tipo A, el mayor número de casos registrados en los ocho años, corresponden a la unidad médica Tembladeras, a la cual asisten los habitantes de la localidad de Ingenio del Rosario, pero además asisten otras localidades que debido a la cercanía con dicha unidad, deben ubicarse en la zona alta de la microcuenca, la cual es la menos contaminada, sin embargo, las localidades de dicha zona no cuentan con cobertura de agua entubada. De acuerdo a investigaciones realizadas en el Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, ABCC (Agua, Bosques, Cuencas y Costas) del Centro de Ciencias de la Tierra-UV, la localidad Ingenio del Rosario es uno de los núcleos rurales que obtienen agua directamente de los cuerpos naturales, por lo que este contexto representa uno de los principales factores que incrementa la incidencia de enfermedades de origen hídrico,

pues no se dispone de servicios de agua y saneamiento básico. Por lo tanto, esta situación puede influir en que se tenga una alta morbilidad en la zona alta, a pesar de que esta es la menos contaminada. Por su parte las unidades Acocota y Cinco Palos, no presentaron ningún caso de hepatitis, el resto de las unidades presenta una baja morbilidad (ver gráfico 6.24).

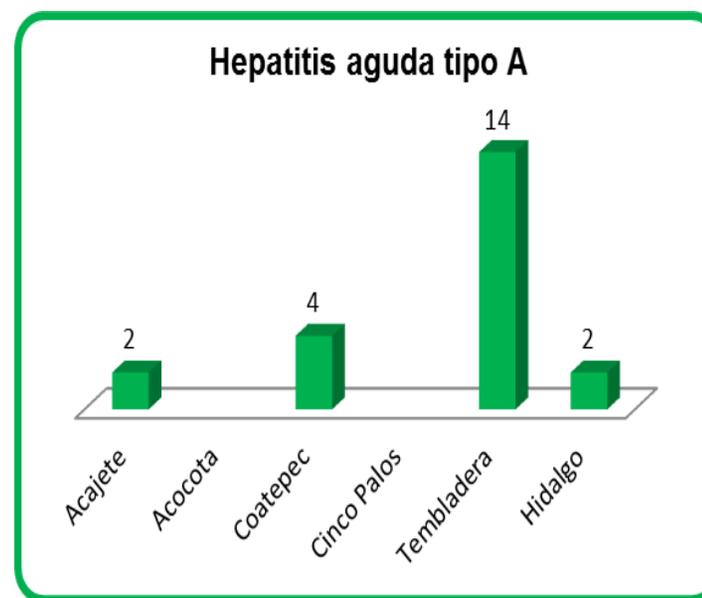


Gráfico 6.24 Número de casos de Hepatitis aguda tipo A por unidad médica. **Fuente:** Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

Con respecto al tiempo, éste no se considera como un factor que influya en el comportamiento de la morbilidad, pues se presentan casos en los que ésta presenta uniformidad, o bien, actúa de manera muy fluctuante. Para el caso de la hepatitis, sólo se presentaron casos durante tres años, del 2008 al 2010, siendo el 2009 el año en el que se presentar una mayor morbilidad (ver gráfico 6.25).

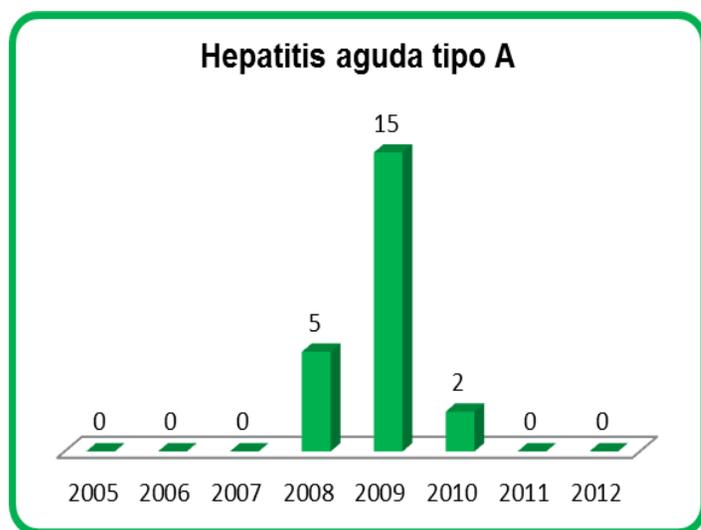


Gráfico 6.25 Número de casos de Hepatitis aguda tipo A por años.

Fuente: Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

Para el caso de otras infecciones intestinales debidas a protozoarios, se presenta una conducta similar a la de la hepatitis, ya que el mayor número de pacientes, se presentó en Acajete, unidad que atiende localidades tanto de la zona alta como de la media, las cuales están menos contaminadas que la baja. Para las unidades de esta zona que son Coatepec, San Antonio Hidalgo y Cinco Palos, se presentó el mismo número de casos que en las dos primeras y, en Cinco Palos no hubo registro de ningún padecimiento (ver gráfico 6.26).

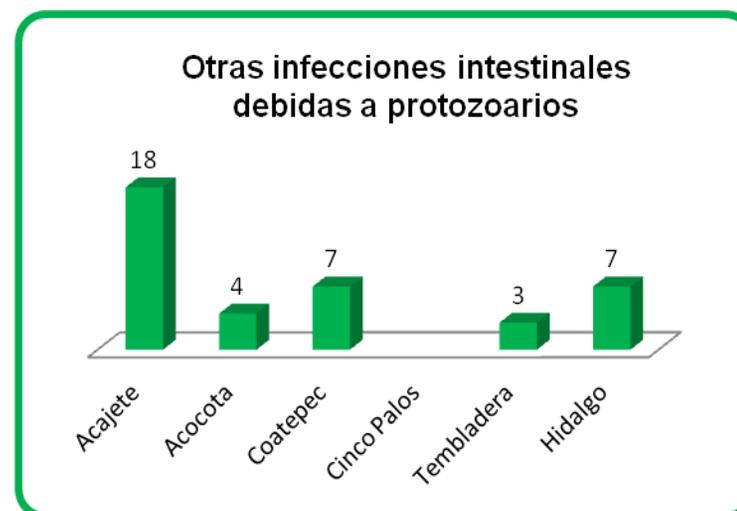


Gráfico 6.26 Número de casos de otras infecciones intestinales debidas a protozoarios por unidad. **Fuente:** Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

El año con mayor morbilidad fue el 2006, seguido del 2008, con 27 y 8 casos respectivamente. Para los siguientes años se presentó uniformidad, pues únicamente se registró una morbilidad de dos, uno o nulo (ver gráfico 6.27).



Gráfico 6.27 Número de casos de otras infecciones intestinales debidas a protozoarios por años. **Fuente:** Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

Las infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas, son las que presentan mayor morbilidad, se observa que en la unidad médica Coatepec se

presentaron 870 casos, en San Antonio Hidalgo fueron 422, ambas unidades con radio de atención a las localidades de la zona baja; aunque la tercera unidad para la zona baja que es Cinco Palos, únicamente presentó 40 casos, misma que registró la menor morbilidad en los ocho años (ver gráfico 6.28).



Gráfico 6.28 Número de casos de infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas por unidad. **Fuente:** Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

También se puede ver que en relación al tiempo, este padecimiento es el que presenta mayor fluctuación, además de que de acuerdo al SINAVE (2014), las infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas, está dentro de las primeras tres enfermedades a nivel estatal y nacional, por lo que no se puede atribuir su causalidad a la contaminación de las fuentes hídricas, sin embargo no se descarta como un factor que presente gran influencia en el padecimiento de éstas, pues la mayoría de los cuerpos de agua en el país tienen indicios de contaminación, siendo las descargas de drenaje una de las principales problemáticas ambientales (ver gráfico 6.29).

La amebiasis intestinal se presentó en mayor medida en la unidad Cinco Palos, con radio de atención en su mayoría a localidades de la zona baja, se registraron 315 casos de amebiasis, lo cual indica que la población de dichas localidades presenta constantemente casos de amebiasis, lo que puede estar relacionado con la contaminación de las fuentes hídricas; tan solo diez núcleos rurales en la microcuenca, pertenecen a dicha unidad, ocho de la zona baja y dos de la media.



Gráfico 6.29 Número de casos de infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas por años. **Fuente:** Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

Además, a dicha unidad pertenecen las localidades de Cinco Palos, Los Capulines y El Tejocotal, las cuales a partir de investigaciones realizadas en el Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, ABCC (Agua, Bosques, Cuencas y Costas) del Centro de Ciencias de la Tierra-UV, se ha detectado que obtienen agua directamente de las corrientes superficiales, lo cual incrementa la incidencia de

enfermedades de origen hídrico. Para el resto de las unidades médicas la morbilidad fue semejante entre éstas (ver gráfico 6.30). En el Gráfico 6.31 se puede ver que el número de casos de amebiasis fluctúa de manera constante respecto al tiempo.

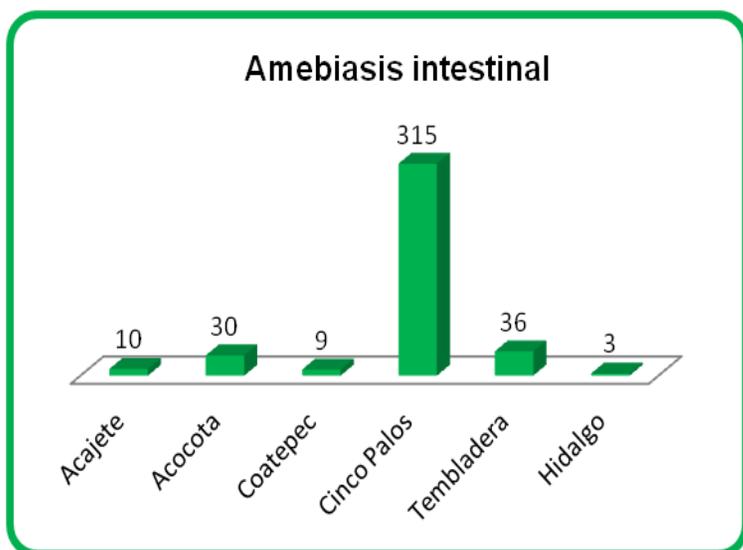


Gráfico 6.30 Número de casos de amebiasis intestinal por unidades.
Fuente: Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

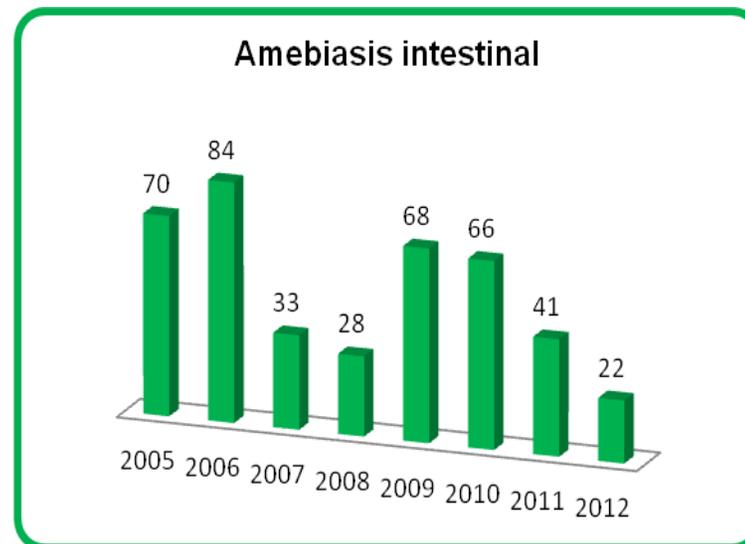


Gráfico 6.31 Número de casos de amebiasis intestinal por años.
Fuente: Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

Finalmente de Ascariasis se tiene registro en casi todas las unidades, pues en la unidad San Antonio Hidalgo, no se presentó ningún caso, mientras que la unidad Coatepec cuenta con 66 casos de ascariasis en los ocho años, el resto de las unidades tiene casi el mismo número de casos (ver gráfico 6.32). En el Gráfico 6.33 puede apreciarse que en el año 2006 se registró mayor morbilidad

con 78 casos de ascariasis, en el 2005, 21 casos, y el resto de los años se mantuvo entre cinco y once.

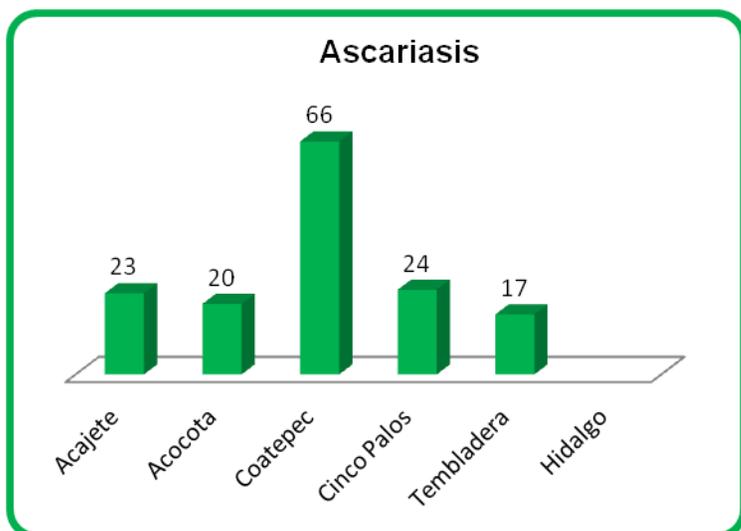


Gráfico 6.32 Número de casos de ascariasis por unidades. **Fuente:** Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

Es importante mencionar que únicamente se analizaron las infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas, ascariasis, amebiasis intestinal, hepatitis aguda tipo A y otras infecciones intestinales debidas a protozoarios debido a la prevalencia de dichas enfermedades, por lo cual es factible la realización de su

análisis. Por lo contrario, para Giardiasis, otras helmintiasis, paratifoidea y otras salmonelosis, fiebre tifoidea y leptospirosis, presentan muy pocos casos, llegando incluso a tenerse una sola persona enferma en los ocho años, tal es el caso de fiebre tifoidea y leptospirosis, esto de acuerdo a la información obtenida de la Secretaría de Salud del Estado de Veracruz.

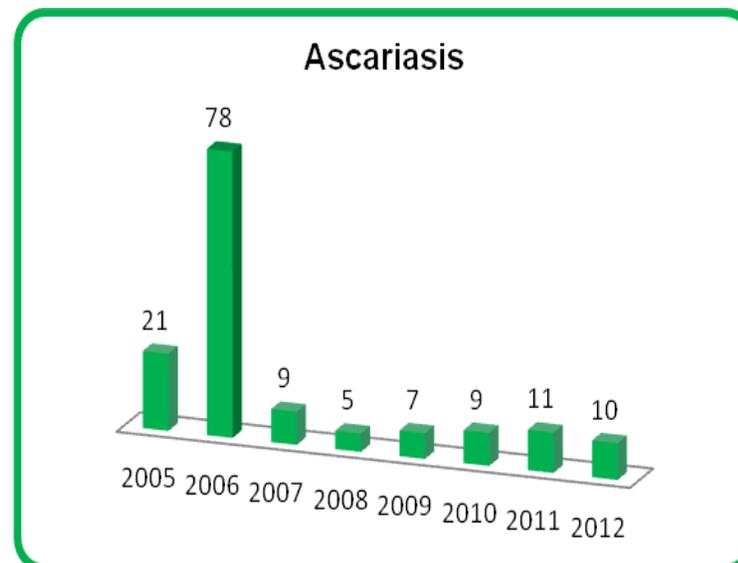


Gráfico 6.33 Número de casos de ascariasis por años. **Fuente:** Menchaca y Uscanga, 2014; Observatorio del agua para el estado de Veracruz, ABCC.

De esta manera se establece que la mala calidad del agua superficial si está relacionada con el contagio de las enfermedades analizadas, sin embargo, existen otros medios de contagio como puede ser el contacto con suelo contaminado, contacto con animales, por la ingesta de alimentos contaminados, entre otros. Finalmente, es preciso señalar que estas enfermedades son causadas por microorganismos presentes en las heces fecales, por lo que su relación es directamente con los coliformes totales y coliformes fecales; no se tiene registro de enfermedades causadas por compuestos químicos o metales pesados.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las conclusiones, de acuerdo con las variables estudiadas.

Se determinó que el factor antrópico afecta directamente a la calidad del agua superficial de los cuerpos naturales de agua en la microcuenca del río Pixquiatic, de acuerdo a las bases de datos del Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, ABCC (Agua, Bosques, Cuencas y Costas). La zona más afectada por el factor antrópico es la zona baja, seguida de la media y, finalmente la zona alta.

Con base a los resultados obtenidos a partir de los distintos indicadores, existen en la microcuenca actividades antropogénicas que pueden estar relacionadas con los altos niveles de fosfatos, cadmio, arsénico, plomo, coliformes totales y coliformes fecales en los cuerpos naturales de agua.

Las altas concentraciones de fosfatos en la microcuenca, pueden estar relacionadas con el uso de grandes concentraciones de fertilizantes fosfatados. Se puede inferir que las actividades agrícolas y domésticas, son las principales responsables de la generación de éstos. Los coliformes totales y coliformes fecales pueden estar relacionados con las actividades pecuarias y domésticas, mismas que generan materia orgánica como son las heces fecales, en las cuales se encuentran los microorganismos que forman los coliformes totales y fecales.

El origen puntual de los metales pesados puede deberse a causas naturales, debido al sustrato litológico de la zona de estudio, pues no existen actividades de extracción minera, o industrias que utilicen metales pesados en sus procesos. Además de que las actividades antropogénicas también pueden contribuir a la generación de éstos.

En relación con la salud, todas las enfermedades que se presentaron en la población de la microcuenca, a

excepción de la Leptospirosis, son transmitidas a través de organismos presentes en las heces fecales de animales y personas, y uno de los medios de transmisión es por ingesta de agua contaminada por estos microorganismos. Sin embargo, a pesar de ser un principal factor de riesgo, no es posible afirmar que estas enfermedades son a causa de la mala calidad del agua en la microcuenca, ya que existen otros medios de contagio como puede ser oral-fecal, es decir, la entrada de los microorganismos a través de la boca; por contacto con el suelo contaminado con heces; contacto con animales, entre otros.

Las actividades antropogénicas que se desarrollan en la microcuenca del río Pixquiac, se practican sin que exista una regulación de éstas, y se evalúen los impactos que puedan generar. Dichas actividades, se llevan a cabo sin respetar las políticas públicas orientadas al uso y manejo de residuos. Esta situación está afectando a la calidad del agua superficial en la microcuenca, presentándose ya, indicios de contaminación por metales pesados, fosfatos y coliformes totales y fecales.

Estas circunstancias representan un riesgo latente para la población rural y urbana de la microcuenca, ya que su salud puede verse afectada a causa de una mala calidad del agua de las fuentes usadas como suministro.

No existe una gestión integral de los recursos naturales en la microcuenca, no se adoptan políticas públicas locales, o bien, las que están vigentes son ineficientes. El tipo de desarrollo que se vive hoy en día en México, obliga a los seres humanos a hacer uso desmedido de los recursos; y, los tomadores de decisiones no afrontan con seriedad y responsabilidad las afectaciones a los ecosistemas, mostrando laxitud frente a los problemas medioambientales.

Se presentan ahora, las recomendaciones que se consideran pertinentes tomar en cuenta para preservar los recursos hídricos de la microcuenca.

Como principal punto, se recomienda realizar un monitoreo constante de de los cuerpos naturales de agua, pues lamentablemente, en la microcuenca del río Pixquiac

no se lleva a cabo de manera efectiva la caracterización del recurso, ya que los organismos encargados de monitorear y analizar las fuentes de suministro, no realizan un monitoreo periódico de todos los indicadores que indica la normatividad, pues en algunos casos, se suspenden los muestreos hasta por tres años. También es pertinente que diversas organizaciones civiles se involucren en el monitoreo de los cuerpos de agua.

El monitoreo de la calidad del agua es un proceso que debe ser eficaz y eficiente, regulado y actualizado. De la misma manera, la evaluación de la calidad del agua es indispensable para poder orientar esfuerzos que favorezcan el reuso del vital líquido. Así mismo, la sociedad civil debe exigir a los órdenes de gobierno que se apeguen a la normatividad nacional y, que ésta a su vez establezca sus lineamientos de acuerdo a lo estipulado por organismos internacionales, por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud.

Debido a que la mayoría de fosfatos se mantuvieron con altas concentraciones en los cuatro años que se tiene

registro, es importante controlar los niveles de éstos en las corrientes superficiales, ya que su presencia puede causar eutrofización en los ríos de la microcuenca.

También se recomienda realizar estudios sobre la presencia de metales pesados, ya que éstos se encuentran presentes desde la zona alta, la cual es la menos afectada por el factor antrópico. Las concentraciones de estos metales son significativas, pues exceden en repetidas ocasiones los límites establecidos por la normatividad. De igual manera, es urgente que se tomen medidas al respecto, sobre las cantidades de coliformes totales y fecales, principalmente en la zona baja, ya que ésta registra altos niveles que son muy superiores a los límites máximos permisibles, siendo además la zona más habitada de la microcuenca.

Es fundamental, que las autoridades nacionales, estatales y municipales de salud pública realicen investigaciones para evaluar la importancia del agua como factor de riesgo de enfermedades. Además de que las autoridades competentes en materia de agua, establezcan

políticas públicas locales, orientadas al control de descargas de aguas residuales y de origen industrial, uso y disposición adecuados de sustancias químicas en actividades agropecuarias y acuícolas, entre otros.

Finalmente, es obligación de toda la sociedad preservar los recursos hídricos del estado y del país. Por tal razón, debe adoptarse una visión integrada de la cultura, manejo y gestión del agua, para preservar los recursos hídricos y, así permitir que tanto la sociedad del presente como la futura goce del vital líquido en cantidad y calidad suficientes.

Por último es importante mencionar la relevancia que posee la presente investigación para la ingeniería ambiental. Este trabajo permite conocer la situación actual que enfrenta hoy en día nuestro país respecto a los recursos hídricos. Pues a través de los valores de los indicadores, es posible determinar el estado de las fuentes usadas como suministro de agua potable.

No obstante, es necesario que los muestreos de las fuentes naturales de agua se realicen con mayor frecuencia. Por ello es necesario que los organismos gubernamentales se vinculen con la ingeniería ambiental, para optimizar y/o promover mecanismos más eficientes y eficaces que nos lleven a una gestión integrada de los recursos hídricos.

VIII. ANEXOS

Anexo 1

Distribución de datos estadísticos por zona

	n	Faltantes	Media	Mínimo	Máximo	25%	75%	Desv. Est.	Mediana	
Zona BAJA	Cianuro	31	33	0.0041	0.002000	0.010	0.00200	0.0040	0.0028	0.00300
	Arsénico	35	29	0.0171	0.010000	0.020	0.01000	0.0200	0.0046	0.02000
	Plomo	14	50	0.0233	0.000000	0.100	0.01000	0.0160	0.0332	0.01000
	Cadmio	23	41	0.0082	0.001300	0.031	0.00200	0.0100	0.0101	0.00200
	Fosfatos	20	44	0.1643	0.010000	0.280	0.16000	0.2150	0.0812	0.17500
	Fenoles	31	33	0.0353	0.006800	0.110	0.02000	0.0460	0.0189	0.03000
	Detergentes	46	18	0.1630	0.000000	0.603	0.10200	0.1490	0.1357	0.13750
	Nitritos	43	21	0.0163	0.000000	0.240	0.00310	0.0120	0.0392	0.00400
	Nitratos	64	0	0.6777	0.000000	9.380	0.19250	0.4750	1.4285	0.30000
	Col. Totales	64	0	238.4688	0.000000	2400.000	20.00000	190.0000	489.3079	43.00000
	Col. Fecales	64	0	52.3438	0.000000	460.000	4.00000	43.0000	103.6207	14.50000
ZONA MEDIA	Cianuro	27	37	0.00452	0.002000	0.010	0.00200	0.01000	0.0034	0.00300
	Arsénico	30	34	0.02367	0.010000	0.200	0.01000	0.02000	0.0338	0.02000
	Plomo	10	54	0.02010	0.005000	0.100	0.01000	0.01000	0.0290	0.01000
	Cadmio	18	46	0.06012	0.001000	1.002	0.00200	0.00800	0.2351	0.00200
	Fosfatos	15	49	0.15713	0.019000	0.330	0.03000	0.21000	0.0946	0.18000
	Fenoles	26	38	0.03180	0.000000	0.090	0.02000	0.04100	0.0176	0.02900
	Detergentes	43	21	0.16582	0.000000	0.603	0.11000	0.15000	0.1411	0.13750
	Nitritos	36	28	0.00757	0.000000	0.080	0.00200	0.00490	0.0147	0.00325
	Nitratos	58	6	0.60542	0.061000	5.400	0.22000	0.48000	0.9687	0.36000
	Col. Totales	58	6	69.84483	0.000000	1100.000	15.00000	43.00000	159.4752	21.00000
	Col. Fecales	58	6	26.46552	0.000000	210.000	4.00000	21.00000	45.1225	11.00000
ZONA ALTA	Cianuro	16	16	0.005500	0.002000	0.02000	0.002000	0.009000	0.004967	0.00300
	Arsénico	18	14	0.017222	0.010000	0.02000	0.010000	0.020000	0.004609	0.02000
	Plomo	7	25	0.022857	0.005000	0.10000	0.005000	0.020000	0.034382	0.01000
	Cadmio	13	19	0.008462	0.002000	0.02500	0.002000	0.010000	0.009665	0.00360
	Fosfatos	9	23	0.150889	0.019000	0.22000	0.160000	0.189000	0.069530	0.17000
	Fenoles	16	16	0.034881	0.006200	0.06100	0.023950	0.048000	0.015405	0.03000
	Detergentes	25	7	0.170368	0.000000	0.60250	0.106000	0.149000	0.160376	0.13750
	Nitritos	22	10	0.010582	0.000000	0.08000	0.002000	0.006500	0.018821	0.00340
	Nitratos	32	0	0.599844	0.110000	2.82000	0.458000	0.665000	0.456725	0.54500
	Col. Totales	32	0	2.718750	0.000000	21.00000	0.000000	4.000000	5.075141	0.00000
	Col. Fecales	32	0	0.906250	0.000000	9.00000	0.000000	0.000000	2.084650	0.00000

IX. BIBLIOGRAFÍA

Barkin, D. (2003). El neoliberalismo y el desarrollo popular sustentable En: *En contra del neoliberalismo. El desarrollo basado en la comunidad en América Latina*. (H. Veltmeyer, A. O'Malley). Miguel Ángel Porrúa, librero-editor, México, D.F., pp. 183-200.

Cadena Vargas, Edel. (2005). El neoliberalismo en México: saldos económicos y sociales. *Quivera*, enero-junio, 198-236.

CEPAL, PNUMA. (2002). *La sostenibilidad del desarrollo en América Latina y el Caribe: desafíos y oportunidades*. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile, Chile, 251 pp.

Cruz, R. (2008). Desarrollo sustentable y desarrollo económico En: *Desarrollo sustentable. Aplicaciones e indicadores*. (M. L. Quintero, C. Fonseca). Miguel Ángel Porrúa, librero editor,

México D.F., pp. 35-66.

Cruz Soto, Luis Antonio. (2002). Neoliberalismo y globalización económica. Algunos elementos de análisis para precisar los conceptos. *Contaduría y Administración*, abril-junio, 13-26.

Domínguez Serrano, Judith. (2010). El acceso al agua y saneamiento: Un problema de capacidad institucional local. Análisis en el estado de Veracruz. *Gestión y Política Pública*, Sin mes, 311-350.

Foladori, G. (1999). Los límites del desarrollo sustentable. Montevideo, Ediciones de la Banda Oriental, 1999.

Goñi R, Goin F. Marco Conceptual para la Definición del Desarrollo Sustentable. *Salud Colectiva*. 2006; 2(2):191-198.

Griggs, D., Stafford-Smith M., Gaffney O., Rockström J., Öhman M., Shyamsundar P., Steffen W., Glaser G., Kanie N., Noble I. (2013). Sustainable development goals for

people and planet En: Nature Volume 495, Issue (7441): pp. 305–307. [en línea]. <http://www.nature.com/nature/journal/v495/n7441/full/495305a.html> 03/10/13

Guimarães, Roberto P. (2000). Implicaciones Político-Sociales del Desarrollo Económico Brasileño en el Siglo XX, Santiago de Chile, CEPAL, División de Desarrollo Social, doc. mimeo., julio.

Leff, E. (2004). *Saber ambiental. Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*. Cuarta edición. siglo xxi editores, s.a. de c.v. en coedición con el centro de investigaciones interdisciplinarias en ciencias y humanidades, unam y con el programa de naciones unidas para el medio ambiente, pnuma, México, D.F., 414 pp.

Lichtensztein, S. (2012). Globalización. Fases y límites de su conceptualización. En: *Globalización y políticas públicas. Reflexiones y aplicaciones*. (V. López, E. Borja). IETEC- Arana Editores,

Xalapa, Veracruz, México, pp. 19-26.

López, R. (2004). *Pobreza urbana y neoliberalismo en México. Formas de acceso a la vivienda y alternativas de política social*. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, México, D.F., 247 pp.

López, V., Borja, E. (2012). *Globalización y políticas públicas. Reflexiones y aplicaciones*. IETEC-Arana Editores, Xalapa, Veracruz, México, 196 pp.

Ornelas, Delgado, Jaime. (2000). La Ciudad bajo el neoliberalismo. Papeles de Población, enero-marzo.

Provencio, E., Carabias, J. (1992). El enfoque del desarrollo sustentable. Una nota introductoria En: *El desarrollo sustentable: ¿Alternativa para América Latina?* (Programa de Aprovechamiento Integral de Recursos Naturales, de la Facultad de

Ciencias de la unam). México, D.F., pp. 167-187.

Quintero, M.L., Fonseca, C. (2008). *Desarrollo sustentable. Aplicaciones e indicadores*. Miguel Ángel Porrúa, librero-editor, México D.F., 478 pp.

Ruiz Rosado, Octavio. (2013). La Cuenca Hidrológica como un sistema: perspectivas de Desarrollo. Postgrado en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz.

Saldívar, A. (2008). Algunas reflexiones sobre el desarrollo sustentable y su medición En: *Desarrollo sustentable. Aplicaciones e indicadores*. (M. L. Quintero, C. Fonseca). Miguel Ángel Porrúa, librero editor, México D.F., pp. 69-91.

Stiglitz, J.E. (2010). *Caída libre. El libre Mercado y el hundimiento de la economía mundial*. Santillana Ediciones Generales, S.A. de C.V., México, D.F., 423 pp.

Todaro, Rosalba. (2000). Aspectos de género de la globalización y la pobreza. Documento presentado en el Panel Outlook on Gender Equality Development and Peace Beyond the Year 2000, 44th Session of the Commission of Status of Women, United Nations, Nueva York 28 de febrero - 17 de marzo de 2000. En: www.un.org/womenwatch/daw/csw

UNAM (2012) <http://www.jornada.unam.mx/2012/05/13/estados/027n2est>
Consultado el 25 de junio de 2013.

Raymond Furon. 1967. El agua en el mundo. Alianza Editorial, S. A., Madrid, España. 7p.

PNUD (2006). Más allá de la escasez: poder, pobreza y la crisis mundial del agua. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Informe sobre Desarrollo Humano, Nueva York, 422pp.

UNAM (2013) <http://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/54/el-agua-como-recurso> Consultada el 23 de Junio de 2013.

ONU (2006) <http://www.un.org/es/> Consultada el 15 de Mayo de 2013.

INEGI (2010) <http://www.inegi.org.mx/> Consultada el 12 de Mayo de 2013.

UNESCO (2003). Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo.

ONU (2005). ONU-Agua. El agua, Fuente de vida. 2005-2015.

ANEAS (2008). EL AGUA POTABLE EN MÉXICO. HISTORIA RECIENTE, ACTORES, PROCESOS Y PROPUESTAS. Roberto Olivares, Ricardo Sandoval. Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México, A.C.

(IV Foro Mundial del Agua, 2006) <http://www.worldwaterforum4.org.mx/home/genwwf.asp?lan=spa> Consultada el 25 de Mayo.

(EL BANCO MUNDIAL, 2012) http://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.PRCP.MM?display=map%3Fcid%3DEXT_BoletinES_W_EXT Consultada el 29 de Abril de 2013.

ONU (2011). Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe de 2011.

CNA (2011). Estadísticas del agua en México, edición 2011. Comisión Nacional del Agua.

CONAGUA (2011). Atlas del agua en México 2011.

Socorro Menchaca Dávila, Berta Ma. Rocío Hernández Suarez, Elba Lupita Alvarado Michi. (2011). Servicios Ambientales y Factor Antrópico en la Microcuenca del Río Pixquiac, Veracruz.

Felipe I. Arreguín Cortés, Víctor Alcocer Yamanaka, Humberto Marengo Mogollón, Claudia Cervantes Jaimes, Pedro Albornoz Góngora, María Guadalupe Salinas Juárez. (2010). El agua en México: Cauces y Encauces. CONAGUA 2010. p. 53.

María del Socorro Menchaca Dávila, Elba Lupita Alvarado Michi. (2011). Efectos antropogénicos provocados por los usuarios del agua en la microcuenca del río Pixquiac.

Menchaca M. S., Alvarado E. L., Zapata K. y Uscanga L. A. (2014). Riesgo: Antropización de los Servicios Ambientales, Amenaza por Contaminación del Agua y Vulnerabilidad en la Microcuenca del Río Pixquiac, Veracruz, México. Memorias. Congreso Internacional de Investigación en Ciencias y Sustentabilidad de Academia Journals. Tuxpan, Veracruz, 28 a 30 de mayo, 2014. Memorias publicadas, (ISBN 978-1-939982-04-9), (ISBN978-1-939982-05-6) y (ISSN 2169-6152).

Paré, L., Fuentes, T., García, I., Gerez, P., Muñiz, M. y Vidriales, G. (2008). Gestión de la cuenca del río Pixquiac y

su interacción con la zona conurbada de Xalapa: esfuerzos desde la sociedad civil. En: *La gestión de los recursos hídricos: realidades y perspectivas*. D., Soares, S. Vargas y M. R., Nuño. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Progreso, Jiutepec, Morelos, México, pp. 228-256.

Luis Aboites Aguilar, Diana Birrichaga Gardida, Jorge Alfredo Garay Trejo. (2010). El agua en México: Cauces y Encauces. CONAGUA 2010. p.23.

CONAGUA (2013). Video: “Libre alumbramiento”. <http://www.conagua.gob.mx/> Consultada el 02 de Junio de 2013.

Jaime Peña Ramírez. (2004). EL AGUA, ESPEJO DE LOS PUEBLOS. Ensayos de Ecología política sobre la crisis del agua en México en el umbral del milenio. Facultad de estudios Superiores-Acatlán. P. ¿-133

(X CONGRESO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EDUCATIVA, 2009) FORMACIÓN AMBIENTAL E INVESTIGACIÓN: UN ENFOQUE METODOLÓGICO

PLURAL PARA LA GESTIÓN DE LAS CUENCAS, LOS BOSQUES Y EL AGUA EN VERACRUZ. EVODIA SILVA RIVERA / GERARDO ALATORRE FRENK / HELIO GARCÍA CAMPOS. UV. CITRO.

Octavio Ruíz Rosado. (2013). La Cuenca Hidrológica como un sistema: perspectivas de Desarrollo. Postgrado en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz.

Griselda Benítez Badillo. (2013). Crecimiento de la población y expansión urbana de la ciudad de Xalapa, Veracruz y sus efectos sobre la vegetación y agroecosistemas. Postgrado en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz.

(CSVA, 2011). Proyecto del Programa Hidráulico Estatal. Consejo del Sistema Veracruzano del Agua.

Albert, L. A. (2004). Contaminación ambiental: origen, clases, fuentes y efectos. EN: *Toxicología ambiental*. (L. A. Albert). Universidad Autónoma de

Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chih., México, pp. 61-74.

Aznar, J. M. (2002). *Recursos mundiales. La gente y los ecosistemas: se deteriora el tejido de la vida*. Ecoespaña Editorial, Madrid, España, 407 pp.

Calvache, A., S. Benítez y A. Ramos. (2012). Fondos de Agua: Conservando la Infraestructura Verde. Guía de Diseño, Creación y Operación. Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua. The Nature Conservancy, Fundación FEMSA y Banco Interamericano de Desarrollo. Bogotá, Colombia. 144p.

CONAFOR (2013)
<http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/temas-forestales/servicios-ambientales>

Evaluación de ecosistemas del milenio. 2005.
<http://www.millenniumassessment.org/>

Gray, N.F. (1994). Orígenes del agua. EN: Calidad del agua potable. Problemas y soluciones. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España, pp. 49-80

IUCN (International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources). 2000. Vision for Water and Nature. A World Strategy for Conservation and Sustainable Management of Water Resources in the 21st Century – Compilation of all Project Documents. Cambridge.

Little, C. y Larab, A. (2010). Restauración ecológica para aumentar la provisión de agua como un servicio ecosistémico en cuencas forestales del centro-sur de Chile. Bosque. Vol. 31(3), pp.175-178

ONU-Agua (2005). El agua, fuente de vida. Organización de las Naciones Unidas-Agua. Informe. Nueva York, EE. UU. 18 pp. Quitarlo

OMS (2005). Ecosistemas y bienestar humano. Organización Mundial de la Salud. Informe. Ginebra, Suiza. 55 pp.

OMS (2006). Guías para la calidad del agua potable. Organización Mundial de la Salud. Guía. Ginebra, Suiza. 398 pp.

OMS (2007). Lucha contra las enfermedades transmitidas por el agua en los hogares. Organización Mundial de la Salud. Informe. Ginebra, Suiza. 36 pp.

OPS (1980). Procedimientos para la investigación de enfermedades transmitidas por el agua. Organización Panamericana de la Salud. Publicación científica No. 398, Washington, D.C. 77pp.

Orrantia, O. A., Ortega, M. M. H., Quirós, O. M. y Loidi, J. A. (2008). Servicios ambientales del bosque: ensayo en una cuenca atlántica europea con base en la experiencia de Centroamérica. Biol. Trop. Vol. 56 (4), pp. 2087-2098

Ortega, C., Ramos, A., Benítez, S., Hurtado, C. A., Ortiz, S. y Gusmán, A. (2013). Reconocimiento de los Servicios Ambientales Hídricos en Latinoamérica. Memorias. 1Taller

de Fondos de Agua. Santiago de Cali, Colombia. 6 al 7 de abril, 2011. 164 pp.

Oyarzún, C. E., Nahuelhual, L. y Núñez, D. (2005). Los servicios ecosistémicos del bosque templado lluvioso: producción de agua y su valoración económica. *Revista Ambiente y Desarrollo*. Vol. XX/ N° 3-Vol. XXI/ N° 1, pp. 88-97

Reid, W. V., Mooney, H. A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., Dasgupta, P., Dietz, T., Duraiappah, A. K., Hassan, R., Kasperson, R., Leemans, R., May, R. M., Pingali, P., Samper, C., Scholes, R., Watson, R. T., Zakri, A. H., Shidong, Z., Ash, N. J., Bennett, E., Kumar, P., Lee, M. J., Raudsepp-Hearne, C., Simons, H., Thonell, J. y Zurek, M. B. (2005). Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Informe de Síntesis. Borrador final. [en línea]. www.millenniumassessment.org 06/09/2013

Ruiz, J. P. (2007). Servicios ambientales, agua y economía. *Rev. Ing.*, pp. 93-100

Siles, C.J. (2008). Los consorcios o alianzas: sus impactos en la salud de los ecosistemas, el bienestar humano y la incidencia política. *Tecnología en Marcha*, Vol. 21-1, pp. 111-122

UNESCO (2003). Agua para todos, agua para la vida. Organización de las Naciones Unidas para la Educación y la Cultura. Resumen. París, Francia. 36 pp.

Manson, R. (2007). *Efectos del uso de suelo sobre la provisión de servicios ambientales hidrológicos, monitoreo del PSA*. Xalapa, Ver.: INECOL A.C.

INECC (2013)
(<http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/conceptos.html>).

CONAGUA (2013)
<http://www.conagua.gob.mx/spr/glosario.html>
[INEGI 2010](#)

OMS (2014)
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/es/

Ramírez, P., Cantú, A. (2008). *Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo. La experiencia en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE), México, D.

Vidriales, G., García, I., Martínez, A., Gerez, P. y Muñiz, M. A. (2012). Características del medio natural. En: *Al filo del agua: cogestión de la subcuenca del río Pixquiac, Veracruz*. (L. Paré y P. Gerez). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, delegación Tlalpan, México, D.F., pp. 75-134.

CEC (2008). El mosaico de América del Norte. Panorama de los problemas ambientales más relevantes, Commission for Environmental Cooperation. Informe de proyecto. Montreal (Quebec) Canadá. 64 pp.

Alvarado E., L. (2010). Agua: efectos provocados por las actividades antropogénicas en la microcuenca del río

Pixquiac. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Veracruzana. Xalapa-Enríquez, Veracruz, México, 178 pp.

Pérez M., A. (2011). Distribución geográfica del índice de pobreza del agua en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Economía, Universidad Veracruzana. Xalapa-Eqz., Veracruz, México, 174pp

Matson, P.A., Parton, W.J., Power, A.G., Swift, M.J., 1999. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, 277 (5325): 504-509.

Maderey, L. (2005). *Principios de hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico*. (pp. 11, 15, 43, 44, 54,55, 57, 58, 60, 61, 67, 70, 74, 88, 89). México: Instituto de Geografía de la UNAM.

Namihira, D. (2004). Conceptos básicos en ecología y su relación con la toxicología ambiental. EN: *Toxicología ambiental*. (L. A.

Albert). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chih., México, pp. 45-60.

Gerber, P. y Menzi, H., 2005. Nitrogen losses from intensive livestock farming systems in South East Asia: a review of current trends and mitigation options. En Greenhouse gases and animal agriculture: an update. Proceedings of the 2nd International Conference on Greenhouse Gases and Animal Agriculture, 20-24 de septiembre de 2005, Zurich, Suiza.

Turner, K., Georgiou, S., Clark, R., Brouwer, R., Burke, J., 2004. Economic valuation of water resources in agriculture. From the sectoral to a functional perspective of natural resource management. FAO water reports n.º 27, FAO, Roma.

Alfaro M. y Salazar F. (2005). Ganadería y contaminación difusa, implicaciones para el sur de Chile. Agric. Téc. v.65 n.3, pp. 330-340

Arcos M. P., Ávila S. L., Estupiñán S.M. y Gómez. C. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. NOVA. Vol. 3 No. 4. pp. 69-79