



II. MARCO CONCEPTUAL



II. MARCO CONCEPTUAL	1
2.1. Cuencas hidrográficas.....	2
2.2. Ciclo hidrológico.....	3
2.2.1. Etapas del ciclo hidrológico.....	3
2.3. Aguas subterráneas.....	5
2.3.1. Enfoques para la Gestión del Agua: Gestión Integral de los Recursos Hídricos, Ecohidrología y Manejo Integrado de Cuenca.....	6
2.3.2. Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH).....	6
2.3.3. Ecohidrología.....	7
2.4. Manejo integrado de cuenca.....	8
2.4.1. Estructura y dinámica de un río.....	11
2.5. Sistema Fluvial.....	11
2.5.1. Contaminación de los Sistemas Fluviales.....	12
2.5.2. Tipos de Sustancias Contaminantes:.....	13
2.5.3. Contaminantes según su forma de entrada en el sistema fluvial.....	14
2.6. Otras fuentes de impacto y alteración de los sistemas fluviales.....	14
2.6.1. Monitoreo de la Calidad del Agua.....	15
2.7. Agua potable.....	16
2.8. Aguas residuales.....	17
2.8.1. Uso de las aguas residuales.....	17
2.8.2. Indicador de Presencia de Aguas Residuales.....	17
2.8.3. Plantas de tratamiento.....	19
2.8.4. Descarga.....	19
2.9. Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos.....	20
2.9.1. Prevención, gestión y manejo integral de residuos.....	22
2.10. Retos para la Sustentabilidad Hídrica de la Subcuenca Atoyac-Oaxaca de Juárez y los ríos Atoyac y Salado.....	23
2.11. Saneamiento en los Ríos Atoyac y Salado.....	24
2.12. Cultura del Agua y Educación.....	25

II. MARCO CONCEPTUAL

La degradación de la calidad del agua en los ecosistemas terrestres se está convirtiendo en una de las mayores amenazas para la disponibilidad y la sustentabilidad de los recursos hídricos, además de sus impactos negativos en la salud y en el ambiente. La calidad disminuida del agua, afecta la salud humana y a los ecosistemas de múltiples maneras además de reducir la cantidad de agua apta para diversos usos.

La acelerada urbanización y la inadecuada gestión de sus desechos, el aumento de la densidad de la población, el uso intensivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura; la degradación de los suelos, la escasa gestión de las aguas residuales y los residuos sólidos son también las principales causas de la contaminación de los cuerpos de agua. Si se agrega que los tratamientos para la potabilización y el tratamiento de aguas servidas son caros y significan un desafío para los países en desarrollo (UNESCO, 2014), todo esto se convierte en un verdadero reto para garantizar un derecho verdadero de acceso al agua y un ambiente sano conforme al Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe (CEPAL, 2018), que tiene por objeto garantizar los derechos de todas las personas, a un medio ambiente sano y a su participación en las decisiones que afectan sus vidas y entorno. Es el primer tratado multilateral vinculante, que protege los derechos de acceso a la información, la participación pública y la justicia en ámbitos como el uso sostenible de los recursos naturales, la conservación de la biodiversidad, la lucha contra la deforestación y el cambio climático, así como la calidad del agua y del aire (*Idem*). Además, es un acuerdo ambiental de segunda generación que garantiza derechos procedimentales fundamentales para implementar de manera adecuada la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y sus 17 Objetivos (ODS); así como dar seguimiento a otros acuerdos internacionales como el Acuerdo de París (2015) y el Convenio de Diversidad Biológica (1993). Se considera, y de acuerdo al Art. 1 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se debe garantizar, promover, respetar y proteger los derechos humanos de todas y todos los mexicanos, incluidas las poblaciones vulneradas y discriminadas como las comunidades indígenas y afroamericanas, así como el Art. 2° que reconoce la composición pluricultural de la nación mexicana. De acuerdo a la Declaración Universal de los Derechos Humanos, ONU 1948, los derechos humanos son universales, interdependientes, indivisibles y progresivos, y en el país las personas que pertenecen a una cultura originaria tienen el derecho a conservar y mejorar el hábitat, así como a preservar la integridad de sus tierras. Considerando la diversidad de población que vive en la región de Valles Centrales, es importante considerar que, dentro del planteamiento de garantizar el derecho a un ambiente sano, sean consideradas las costumbres, conocimiento y cosmovisión de las poblaciones indígenas y afroamericanas. El convenio 169 de la Organización del Trabajo (OIT) es el instrumento de derechos humanos más relevante para la protección de los indígenas reconociendo y fortaleciendo su cultura.

Para el caso de niños y niñas, el Art. 4° indica que en todas las decisiones del Estado se velará y cumplirá con el principio del interés superior de la niñez, garantizando de manera plena sus derechos. La Ley General de los Derechos de niñas, niños y adolescentes en su Art. 13° reconoce, entre otros, lo siguiente: derecho a vivir en condiciones de bienestar y a un sano desarrollo integral, derecho a la protección de la salud y a la seguridad social. Por lo que el cuidado y protección del ambiente, permitirá garantizar que las niñas y niños, puedan vivir en un ambiente sano.

Este marco de referencia busca brindar bases conceptuales para la elaboración del “Plan Integral de Rehabilitación y Saneamiento de los Ríos Atoyac y Salado”, el cual además toma como base para la construcción de los objetivos y estrategias, los datos y análisis obtenidos en el diagnóstico y caracterización del área de estudio. De igual manera el marco conceptual permitirá discutir el enfoque

necesario para atender la complejidad de la contaminación de los Ríos Atoyac y Salado, así como las condiciones ambientales de la subcuenca Atoyac-Oaxaca de Juárez (RH2OAc).

Los temas que se presentan en este marco conceptual buscan fundamentar el análisis para una perspectiva general de la dinámica de cuencas, el ciclo hidrológico, la gestión integrada de los recursos hídricos, el manejo integrado de la cuenca y la incorporación de la ecohidrología como elemento que fortalece el análisis integral en la propuestas dirigidas a la solución de la problemática de contaminación de los ríos Atoyac y Salado y la promoción de una nueva cultura, orientada al mejoramiento de la calidad ambiental a través de la actuación de los gobernantes y sus gobernados.

Otro elemento importante es la temporalidad del plan, que permitirá ejecutar las acciones necesarias de saneamiento de los Ríos Atoyac y Salado en el corto, mediano y largo plazo para lograr los objetivos establecidos. Por ello es importante clarificar las diferencias conceptuales entre rescate, saneamiento, recuperación y rehabilitación; lo que permitirá definir los niveles de intervención en cada sistema, espacio y tiempo.

El análisis de la contaminación de los ríos Atoyac y Salado permiten identificar los contaminantes, su fuente, grado de contaminación y sus posibles causas; lo que permitirá sugerir las opciones más viables bajo criterios técnicos, ambientales, normativos, sociales, económicos y culturales. Todo esto, bajo un esquema de fortalecimiento institucional (eficiencia y eficacia gubernamental), gobernanza, participación ciudadana (derechos y obligaciones), equidad de género, derechos humanos, formación de capacidades, evaluación y rendición de cuentas.

Otro elemento fundamental y transversal a la problemática socio ambiental de la contaminación de los Ríos Atoyac y Salado, es el papel que juega el comportamiento humano, sus creencias y actitudes culturales hacia el agua, por ello se deberá proponer un amplio programa de cultura del agua, educación para la sustentabilidad; comunicación e información a los habitantes de la Subcuenca RH2OAc Atoyac-Oaxaca de Juárez.

2.1. Cuencas hidrográficas

Las cuencas hidrográficas son espacios territoriales delimitados por un parteaguas o línea divisoria de aguas, que concentran los escurrimientos (arroyos y/o ríos) que fluyen y forman una corriente principal que desemboca a otra corriente de mayor caudal, a una laguna, lago (formando una cuenca denominada endorreica) o el mar (llamada cuenca exorreica). En estos territorios hay una interrelación e interdependencia espacial y temporal, entre los medios: biofísico (suelo, ecosistemas acuáticos y terrestres, cultivos, agua, biodiversidad, estructura geomorfológica y geológica), los modos de apropiación humana (tecnología y/o mercados) y las instituciones (organización social, cultura, reglas y/o leyes). Las cuencas hidrográficas permiten entender espacialmente el ciclo hidrológico, así como cuantificar e identificar los impactos de los fenómenos naturales (erosión, cambio climático) y los efectos acumulados de las actividades humanas (sedimentos, contaminantes y nutrientes) a lo largo del sistema de corrientes o red hidrográfica, que afectan positiva o negativamente la calidad y cantidad del agua, la capacidad de autodepuración, la capacidad de adaptación de los ecosistemas y la calidad de vida de sus habitantes. Las cuencas hidrográficas además de ser unidades funcionales, tienen límites bien definidos y salidas puntuales, están estructuradas jerárquicamente y anidadas, ya que pueden subdividirse en subcuencas y microcuencas, delimitadas también por un parteaguas y donde se concentran los escurrimientos que desembocan en el curso principal del río (CECADESU-SEMARNAT, 2013).

El agua que se infiltra a través del perfil vertical del suelo, puede llegar a formar parte de corrientes subterráneas en escalas de tiempo mucho mayores que las corrientes superficiales y responden a

dinámicas hidrológicas que son espacial y temporalmente distintas. De esta forma, los flujos de agua superficial que se relacionan con la cuenca hidrográfica se refieren a ríos y arroyos, que son directamente alimentados por la precipitación y los escurrimientos en la parte superficial, y los flujos de agua subterránea vinculados con la cuenca hidrológica, están relacionados con los acuíferos, que se irán recargando en función del estrato geológico y la dirección de los flujos. Estos dos tipos de flujo (superficial y subterráneo) tienen una relación estrecha que es necesario comprender y estudiar ya que su dinámica se halla interrelacionada (Cotler *et al.*, 2013). Por lo tanto, la cuenca hidrológica ofrece a través de un enfoque territorial, analizar el comportamiento del ciclo hidrológico y relacionarlo con otros elementos del sistema (suelo, vegetación y relieve, principalmente), evaluar los efectos acumulativos de las actividades humanas, así como eventos externos como el cambio de variables climáticas o incremento de eventos hidrometeorológicos extremos.

En este sentido, se busca que el Plan Integral se desarrolle con una visión integral de cuenca, considerando la interacción entre la sociedad con los elementos naturales, y que las intervenciones en el ambiente afectan a todos sus elementos de forma positiva o negativa. Con visión de cuenca se debe entender que las afectaciones en la parte alta de la cuenca afectan a la parte media y baja, así sucesivamente. La contaminación que se presenta en los Ríos Atoyac y Salado es resultado, entre otros aspectos, de no considerar una visión de cuenca en el desarrollo de las actividades humanas y en el manejo del territorio.

2.2. Ciclo hidrológico

El ciclo del agua es otro de los ciclos biogeoquímicos del planeta, que sustentan la vida en la Tierra. El agua que no se encuentra almacenada permanentemente en forma de hielo, se mueve constantemente a través de varias vías en la atmósfera, la biósfera y la litósfera, en una serie de flujos naturales conocidos como ciclo hidrológico (Granados *et al.*, 2005). El ciclo del agua o ciclo hidrológico es el proceso mediante el cual se realiza el abastecimiento de agua para las plantas, los animales, el hombre y los seres vivos en general (Maderey y Jiménez, 2005). En términos más específicos, se define como el movimiento ascendente por evaporación y transpiración y descendente por las precipitaciones, después en forma de escorrentía e infiltración (flujos de agua) superficial y subterránea.

Tales movimientos presentan dos aspectos distintivos: a) la escorrentía subterránea es mucho más lenta que la superficial y esta lentitud le confiere al ciclo ciertas características fundamentales, como que los ríos mantienen un caudal por más tiempo después de las últimas precipitaciones, y b) las aguas subterráneas es una de las fases o etapas del ciclo del agua, y el desconocimiento de esta condición puede provocar que se exploten como si no tuvieran relación con las precipitaciones o la escorrentía superficial (Escolero *et al.*, 2006).

El ciclo hidrológico es un sistema, definido como un conjunto de elementos o procesos físicos unidos a través de algunas formas de interdependencia, que actúan sobre un grupo de variables de entradas para convertirlas en las salidas, donde los procesos integrados son resultados de varios factores de gran variabilidad espacial y temporal (Campos, 1998). Por ello se dice que el ciclo hidrológico es un proceso complejo de interrelaciones locales, regionales y globales.

2.2.1. Etapas del ciclo hidrológico

Las etapas del ciclo hidrológico se describen a continuación:

Evaporación. Emisión de vapor de agua por una superficie libre a temperatura inferior a su punto de ebullición (Monsalve, 1998). Este proceso se presenta en la superficie del suelo, aunque paulatinamente

progresa hacia el interior, y consiste en la evaporación directa de la atmósfera (Granados, *et al.*, 2005), también se lleva a cabo directamente de los cuerpos de agua como el mar, lagos, lagunas, ríos, etc.

Transpiración. Proceso por el cual el agua de la vegetación pasa a la atmósfera en forma de vapor (Monsalve, 1998). Ocurre cuando las plantas extraen agua de la capa edáfica para introducirla en su sistema a través de una red de capilares; el agua después de ser elevada en el interior de los tallos, troncos, ramas y de llegar a las hojas, es descargada a través de sus poros estomáticos hacia la atmósfera en forma de vapor de agua (Granados *et al.*, 2005).

En general, la evaporación del agua contenida en el suelo, la adherida a la superficie de las plantas, así como la pérdida de agua, cuticular y estomática de las plantas, son procesos que se denominan colectivamente como evapotranspiración (Granados *et al.*, 2005).

Precipitación. Agregado de partículas acuosas, líquidas o sólidas, cristalizadas o amorfas, que precipitan de una nube o grupo de nubes al suelo (Monsalve, 1998). La precipitación se presenta una vez que se reúnen tres condiciones en la atmósfera: 1) saturación de la atmósfera, la cual ocurre cuando se enfría la masa de aire hasta alcanzar la presión de vapor saturado o bien cuando se añade humedad a la masa de aire, 2) presencia en la atmósfera de pequeñas partículas o núcleos de ellas, pudiendo entonces ocurrir la condensación o sublimación y 3) unión de partículas de agua o hielo las que, al aumentar su tamaño suficientemente, se precipitan por acción de la gravedad. Normalmente la precipitación ocurre cuando una masa de aire se enfría al elevarse y alcanza la presión de vapor saturado. Las masas de aire se elevan como resultado de sistemas frontales, efectos orográficos y por convección (Granados *et al.*, 2005).

Intercepción. Se define como el proceso mediante el cual el agua de lluvia cae sobre una ladera que posee un suelo natural y una cobertura vegetal intacta, la cual es colectada en la superficie de las plantas, sobre las copas de los árboles, troncos y ramas (Granados *et al.*, 2005).

De acuerdo con David *et al.*, (2005), citado por Méndez (2013), es un proceso por el cual la lluvia incidente es interceptada por las coberturas vegetales y posteriormente es redistribuida. La lluvia que es interceptada por la superficie de la planta, es retenida temporalmente para luego ser evaporada a la atmósfera (pérdida por intercepción) o cae al suelo directamente por goteo traslocación) o fluye a través de las ramas y el tronco (escurrimiento cortical o fustal). Esto depende fundamentalmente de las características del follaje, en particular de su cobertura, es decir, si comparamos la intercepción de diferentes tipos de vegetación, se espera que ésta aumente a medida que aumente el área foliar (Ataroff y Sánchez, 1999).

Infiltración. Se define como el movimiento de agua, a través del perfil vertical del suelo hacia dentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares (Aparicio, 2004), así como por la conductividad hidráulica influenciada por la textura de las partículas del suelo, y el espacio poroso (Peinado-Guevara *et al.*, 2010; Osuna-Ceja y Padilla-Ramírez, 1998). También se define como el proceso de absorción del agua del suelo procedente de la precipitación débil o moderada. Por lo anterior, la infiltración será solamente tan rápida como lo permita el índice de drenaje de la tierra bajo la influencia de la gravedad. El proceso de flujo del agua a través de la capa de tierra saturada motivado por las fuerzas de gravedad se llama percolación (Granados *et al.*, 2005).

Escorrentía. Se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca. Existen tres tipos: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo. De estos, el superficial es el que llega más rápido hasta la salida de la cuenca. Por ello está relacionado directamente

con una tormenta en particular y entonces se dice que proviene de la precipitación en exceso o efectiva y que, al acumularse en las zonas más bajas del terreno forman pequeños arroyos que alimentan a las corrientes intermitentes para que éstas a su vez alimenten a los ríos.

El escurrimiento subterráneo es el que de manera más lenta llega hasta la salida de la cuenca (puede tardar años en llegar), y en general, difícilmente se le puede relacionar con una tormenta en particular, a menos que la cuenca sea demasiado pequeña y su suelo muy permeable (Aparicio, 2004; CONAFOR, 2007).

El ciclo hidrológico no solo se debe considerar como el sistema que la naturaleza desarrolló hace millones de años, sino más bien, como un proceso constante que integra una serie de factores biológicos, fisiográficos y sociales que permiten un balance en la cuenca, permitiendo la recarga y la descarga de los acuíferos.

Por ello es que la comprensión del ciclo hidrológico es esencial para el manejo eficiente del agua de lluvia y el agua del suelo (Shaxon y Barber, 2005; citado por Yáñez, 2013). Por lo cual, también es necesario comprender cada una de sus fases porque todas son fundamentales dentro del ciclo, los que en conjunto permiten la disponibilidad de este importante recurso dentro del ecosistema, adquiriendo una mayor importancia al interior de los ecosistemas forestales, donde las etapas del ciclo se vuelven más complejas, sujetas a un mayor número de factores que modifican la calidad y la cantidad de agua producida (Cárcamo, 2006; citado por Yáñez, 2013).

También el conocimiento del ciclo, permite su comprensión mediante la estimación del volumen en tiempo y espacio y es importante para encontrar el equilibrio entre los diferentes componentes del ecosistema, de tal forma que se le dé un manejo a nivel cuenca considerando la lluvia, el escurrimiento superficial, la infiltración hacia los mantos acuíferos, la evaporación y la transpiración de las plantas y los animales; fungiendo así la naturaleza, en un sentido estricto hacia la integridad socioeconómica del agua (Velasco, 2012).

Para el caso del presente estudio se realizaron los cálculos de cada etapa del ciclo hidrológico en las zonas de estudio (Capítulo IV. Caracterización), donde se observa el comportamiento de la precipitación, evapotranspiración, escurrimiento e infiltración. Se recalca que de todas las variables, la evapotranspiración corresponde a un porcentaje elevado de la cantidad de agua que precipita, limitando la disponibilidad de agua dulce. Por lo que se plantea que la recuperación ambiental del área de estudio contribuiría a disponer de mayor cantidad de agua de calidad.

2.3. Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas son un componente importante en el ciclo hidrogeológico y los acuíferos. Son componentes hidrológicos de suma importancia, a nivel mundial el agua subterránea representa el 98% del agua dulce no congelada de la Tierra. En la naturaleza el agua subterránea lleva muchos procesos geológicos y geoquímicos, aparte de que sostiene diversas funciones y servicios ecológicos.

El uso del agua subterránea se ha incrementado significativamente en los últimos 50 años, debido a su alta fiabilidad durante las temporadas de sequía y por su buena calidad. A pesar de ello, el tema de agua subterránea enfrenta una problemática compleja. El riesgo creciente de agotamiento de las aguas subterráneas, el deterioro de su calidad y contaminación, la creciente demanda del recurso para uso humano y otros usos, y el impacto del cambio climático en los sistemas de agua subterráneas.

El agotamiento de las aguas subterráneas implica la disminución del nivel del agua a largo plazo, causado por la extracción constante de agua, lo que resulta en el incremento de los costos de bombeo, el deterioro de la calidad del agua, la reducción de agua en los ríos y el hundimiento del terreno.

El aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos subterráneos y su manejo, dependen en gran medida del conocimiento de los sistemas de acuíferos, de la recarga espacial y temporal de las aguas subterráneas y de la tasa de descarga, así como del almacenamiento. Los cambios demográficos y el crecimiento poblacional en varias regiones y su correspondiente incremento en la demanda de agua para satisfacer las necesidades humanas, así como el impacto del cambio climático, son otros factores que tienen que ser estudiados para garantizar un manejo sustentable de las aguas subterráneas. Se debe dar atención específica al manejo de recursos hídricos subterráneos no renovables, cuya explotación siempre lleva a una reducción en las existencias de este recurso (UNESCO, 2012).

2.3.1. Enfoques para la Gestión del Agua: Gestión Integral de los Recursos Hídricos, Ecohidrología y Manejo Integrado de Cuenca

Con el incremento poblacional centrado en un crecimiento urbano descontrolado, degradación de la calidad del agua y el creciente impacto y vulnerabilidad de los desastres hidrológicos (inundaciones y sequías) y otros efectos hidrológicos relacionados con el cambio global y el cambio climático; la pérdida paulatina de seguridad hídrica es cada vez más preocupante. Para abordar la complejidad y rapidez de los cambios ambientales y demográficos, la gestión de los recursos hídricos y las políticas de protección de este vital recurso, se debe plantear desde un enfoque holístico, multidisciplinario y compatible con el medio ambiente. En este apartado se discuten estos enfoques conceptuales y metodológicos para sustentar tanto el análisis del diagnóstico como para la construcción del Plan Integral que atenderá a corto, mediano y largo plazo la solución de la problemática de los Ríos Atoyac y Salado de la subcuenca Atoyac-Oaxaca de Juárez.

2.3.2. Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH)

La Gestión Integral de los Recursos Hídricos, abre un cambio de enfoque en la gestión de los recursos hídricos. La misma promueve pasar de la fragmentación a la integración, de la mera explotación del recurso (aprovechamiento) a la conservación y uso sostenible del agua, de la gestión de la oferta a la gestión de la demanda, de la centralización a la descentralización, del manejo de infraestructuras a la administración eficiente, de la ampliación de la cobertura de los subsidios para desarrollar el sector a la gestión del uso múltiple para la generación de ingresos y la reasignación del agua disponible (Martínez y Villalejo, 2018).

El ordenamiento integrado de los recursos hídricos tomando como unidad de gestión la cuenca hidrográfica, se basa en la percepción de que el agua es parte integrante del ecosistema, un recurso natural y un bien social y económico cuya cantidad y calidad determinan la naturaleza de su uso; y que del mantenimiento de los procesos vitales ecosistémicos (ciclo del agua y ciclo de la energía) depende, que sigamos teniendo agua disponible para vida humana.

Los objetivos implícitos de la gestión integrada de las cuencas hidrográficas son: desarrollo integrado de cuencas, manejo y ordenamiento integrado de cuencas, desarrollo y administración de los recursos hídricos y protección-recuperación de cuencas (Riveros, 2003).

De acuerdo a Aguirre las cuencas hidrográficas brindan múltiples servicios ambientales relacionados con el ciclo hidrológico, desde los servicios directos de provisión de bienes o productos, tales como el abastecimiento de agua para la población y para las actividades productivas, hasta la provisión de servicios indirectos tales como los de regulación, de hábitat y servicios relacionados con el ecoturismo (Aguirre 2011, citado en Martínez y Villalejo, 2018 p.65)

Los servicios ambientales que brindan las cuencas hidrográficas generalmente no son valorados por las sociedades que la habitan, debido a la falta de conciencia ciudadana, desde la escasa cultura que se tiene en casa como el uso de los recursos naturales en los diferentes sectores productivos, pues se ha considerado a la naturaleza como mero proveedor de materias primas, sin comprender que hay recursos finitos, como el agua, donde su mala administración y manejo puede repercutir en la baja de productividad, por ejemplo en el campo. Por ello, estos servicios enfrentan grandes amenazas tales como, la sobreexplotación de los recursos (agua y suelos), la contaminación de los cuerpos de agua, la construcción de infraestructura de grandes dimensiones que alteran el funcionamiento natural de los ecosistemas, entre otros. De aquí que se deba buscar también, un cambio de visión en los diferentes sistemas productivos, donde se pueda dar un mejor manejo a los residuos generados y al uso del agua en las diferentes actividades productivas, propiciando su tratamiento y re uso.

En esta Gestión Integral de Recursos Hídricos es importante que se considere también la diversidad política administrativa de los municipios, pues al coexistir en un territorio, atender problemas ambientales en común será más fácil si se reconocen las diferentes formas de administración y gobierno, esto incluye a los núcleos agrarios. En este sentido la GIRH debe propiciar la coordinación intermunicipal e intersectorial para plantear objetivos a problemáticas comunes, pues la contaminación ambiental al no tener fronteras no se garantiza que los efectos adversos solo se mantengan en un municipio. Aquí cobra relevancia que se considere la gestión integrada de cuenca como una estrategia de visualización para resolver problemas comunes en el territorio.

2.3.3. Ecohidrología

A la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH), planteada como el proceso sistemático para el conocimiento, gestión, desarrollo sostenible y supervisión del agua en el contexto de objetivos sociales, económicos y ambientales; se suma la disciplina de la ecohidrología con los procesos de planificación hídrica, lo que implica una serie de cambios con la incorporación de elementos emergentes y un nuevo enfoque metodológico más amplio.

La ecohidrología al ser una nueva ciencia combinada, propone una nueva metodología de abordaje multidisciplinario para una gestión sustentable y de largo plazo de los recursos hídricos. Surge en el contexto de la Conferencia Internacional sobre Agua y Medio Ambiente en Dublín en 1992 (Martínez y Villalejo 2019).

Se constituye en un enfoque innovador que promueve un abordaje sistémico que considera los procesos evolutivos de circulación de agua y nutrientes, así como los flujos energéticos a escala de las cuencas mediante la ordenación integrada de los procesos biológicos, biogeoquímicos e hidrológicos como instrumentos de gestión. Como un concepto científico que representa una nueva aproximación a la restauración y gestión sustentable del recurso hídrico y provee una herramienta adicional para la administración de la degradación ecológica del agua y de sus procesos en la superficie de la tierra en las cuencas grandes, medianas y pequeñas interconectadas entre sí (Zalewski *et al.*, 1997).

Dentro del Programa Hidrológico Internacional (IHP) (2008), se puede sintetizar en la búsqueda del cumplimiento de tres objetivos:

- 1.- Integración del agua y la biota a escala de cuenca, reconociendo a esta unidad hidrográfica territorial como el escenario físico donde se deben analizar los procesos hidrológicos, ya sean en estado natural, alterado por el hombre o ya en condiciones de degradación.
- 2.- Comprensión de la resistencia y resiliencia resultantes, de la evolución frente al estrés provocado en el ciclo hidrológico por acción del hombre o fenómenos hidro-climáticos extremos, con la meta de

reforzar la capacidad de absorción o amortiguamiento que ofrecen los ecosistemas frente a los impactos, especialmente los de origen antrópico.

3.- Mejoramiento de la calidad y servicios de los ecosistemas, combinando soluciones estructurales y no estructurales de la actuación socio-política y la aplicación de tecnologías ecológicas y biotecnológicas.

2.4. Manejo integrado de cuenca

La posibilidad de realizar un manejo a escala de cuenca se inicia cuando los habitantes se reconocen como parte de ella y como beneficiarios de sus servicios ecosistémicos (que se originan con las funciones propias de ésta, desde los parteaguas o zonas más altas hasta los puntos de salida o zonas de emisión, como el mar o un lago), al mismo tiempo que se visualizan como generadores de impactos que se expresan en forma acumulativa en las partes bajas (Cotler, *et al.*, 2013).

Reconocer la dinámica hidrológica, ecosistémica, cultural, social e institucional de las cuencas hidrográficas de México implica, primero, conocer donde se vive, de dónde vienen los bienes y servicios ambientales que benefician a los núcleos poblacionales, el agua, la biodiversidad, el suelo, los bosques y las selvas, y cómo cumplen diversas funciones y se relacionan a partir del “elemento integrador agua”, con su red de arroyos y ríos; una conexión inseparable entre la cuenca alta y la cuenca baja (*op. cit.*).

En las cuencas hidrográficas se realizan las actividades productivas, es una zona delimitada topográficamente que desagua mediante un sistema fluvial. De esta forma, se constituye como una unidad físico-biológica e hidrológica y también como unidad socio-política para la planificación y ordenación de los recursos naturales.

El manejo integrado de cuencas, es un proceso que busca la resolución de un complejo conjunto de problemas interrelacionados en el ámbito de una cuenca, grande mediana o pequeña. Este proceso debe ser adaptativo, es decir, que se va construyendo y aprendiendo de las experiencias, sustentado en información científica y local. Este proceso busca resolver problemas comunes, por lo que requiere de la concurrencia, la cooperación y la colaboración de diversos actores e instituciones con una visión común (Cotler y Caire, 2009).

En México la Ley de Aguas Nacionales introdujo el concepto de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos como el “proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra, los recursos relacionados con éstos y el ambiente; con el fin de maximizar el bienestar social y económico, equitativamente sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. Dicha gestión está íntimamente vinculada con el desarrollo sustentable. Para la aplicación de esta Ley en relación con este concepto, se consideran primordialmente agua y bosque.

Ante el reto de implementar el manejo y gestión de cuencas (hidrográficas e hidrológicas), frente a la afectación del cambio climático a los ecosistemas y a las comunidades humanas. Cotler *et al.*, (2013), plantean los siguientes puntos de reflexión en materia de manejo de cuencas:

1.- Conservar y manejar apropiadamente el patrimonio natural de México

El patrimonio natural del país funciona de manera compleja e interconectada y la cuenca permite determinar acciones claras para el manejo de cada ecosistema en cada zona funcional e identificar sus impactos, positivos y negativos, aguas abajo.

Para ello, el territorio y las actividades humanas, deben ordenarse partiendo desde los componentes ambientales de las cuencas y con una amplia participación social.

Para la Subcuenca RH20Ac, tanto en los apartados de IV. Caracterización, se describen los elementos bióticos, abióticos y aspectos sociales que en esta convergen, encontrando entre algunos otros puntos los cambios significativos en el uso del suelo del territorio, observando que las zonas urbanas se han ido desarrollando, desordenadamente, sobre áreas con vocación agrícola, disminuyendo las áreas de infiltración al acuífero de Valles Centrales y V. Diagnóstico, se desarrolla el análisis de contaminación al ambiente por actividades humanas, tanto en los ríos Atoyac y Salado como de la subcuenca, por fuentes de contaminación puntual y difusa. Se desarrolló un análisis de la flora y fauna asociada a ecosistemas acuáticos encontrando que este patrimonio natural, de uno de los Estados con mayor biodiversidad, también se está viendo disminuido por la contaminación.

2.- Promover una planeación y acción participativas

Fomentar procesos de planeación participativos con enfoque adaptativo en las cuencas hidrográficas. Estos procesos deben ser flexibles, para adecuarse a las situaciones dinámicas de la cuenca e incorporar los retos que plantea la variación climática, cuyos impactos se dejan sentir en la actualidad.

Con el desarrollo del presente estudio, se buscará que la sociedad civil organizada y ciudadanos de la subcuenca, en coordinación con los tres órdenes de Gobierno, implementen un Plan Integral, con visión de cuenca, favoreciendo la coordinación interinstitucional e intersectorial para resolver problemas comunes, que se vaya adaptando a la nueva realidad y necesidades de los habitantes de la subcuenca, sin afectar los bienes naturales de las generaciones futuras.

3.- Fomentar procesos inter y transdisciplinarios para el análisis y solución de los problemas

Incidir en las cuencas hidrográficas a partir de la integración de procesos inter y transdisciplinarios. Comprender, analizar y proponer soluciones mediante una aproximación transdisciplinaria donde se privilegie, el acercamiento a la cuenca como un sistema complejo considerando todos los saberes relevantes sobre su manejo integrado.

Para propiciar la rehabilitación y saneamiento de los ríos Atoyac y Salado, así como la recuperación ambiental de la subcuenca, es una realidad que ninguna dependencia u organización civil puede lograrlo sola. Para esto se requiere de un enfoque multidisciplinario para la resolución de problemas, que contemple múltiples puntos de vista, experiencias y conocimientos, diálogo y acuerdos para propiciar el bien común. En el Plan Integral a implementar, se plantean ejes, estrategias y líneas que propicien la coordinación de acciones para resolver la problemática de contaminación de la subcuenca.

Aquí juega un papel relevante los sectores académicos y centros de investigación, pues al contar con personal altamente calificado y estudiantes que buscan poner en práctica los conocimientos adquiridos, y sectores públicos, como municipios, que requieren de personas capacitadas para resolver temas ambientales específicos, se podría propiciar la firma de acuerdos y convenios de colaboración para contar con residentes profesionales que pudieran enfocarse en temas que solucionen problemas ambientales de manera práctica en el municipio, como puede ser el manejo de residuos sólidos urbanos, desarrollo de campañas ambientales para la ciudadanía, manejo de vegetación, entre otros. Los estudiantes adquieren experiencia y los municipios pueden resolver problemáticas que requieren de un nivel alto de conocimiento.

4.- Promover la conservación de los bienes y servicios ecosistémicos y vincular lo económico con lo ambiental en forma efectiva

Conectar de manera efectiva a los usuarios y proveedores de los bienes y servicios ecosistémicos que se producen en las cuencas hidrográficas, incorporando los valores social, ambiental y económico de dichos bienes y servicios para establecer sistemas de compensación, que reflejen adecuadamente los costos de oportunidad de la conservación. Como ejemplo están los pagos de servicios hidrológicos que se otorgan a las comunidades que manejan y conservan sus bosques con el objetivo de seguir garantizando la cobertura forestal que permita, además de proteger el suelo, amortiguar el impacto de la lluvia, se intercepte agua por la cobertura forestal, se disminuya su velocidad de escurrimiento y mantenga el caudal de ríos y arroyos, con agua de calidad por más tiempo.

Si bien, en un principio se aborda, como problema central a resolver la contaminación de los ríos Atoyac y Salado, la degradación de la subcuenca propicia afectación a los bienes y servicios ecosistémicos que aprovecha la población de la región de Valles Centrales. Es una realidad que en todos los municipios se demanda mayor cantidad de agua, la que se ha visto disminuida tanto en calidad como en cantidad con la disminución de zonas boscosas como del incremento de áreas urbanas.

Continuar con un desarrollo, sin visión integral del territorio, repercutirá económicamente en la población, pues será cada día más difícil acceder a agua la que tendrá un mayor costo para que llegue a las viviendas, afectación a la salud por enfermedades asociadas a agua contaminada o derivado de cambio climático, como el incremento de la temperatura y sensación térmica en las áreas urbanas que puede propiciar alergias.

5.- Establecer procesos claros de corresponsabilidad y acción

Fomentar la cooperación, articulación y coordinación de los actores y grupos de interés en las cuencas hidrográficas para la solución de problemas comunes, con base en principios de corresponsabilidad y sustentabilidad. Las acciones que sean aplicadas como soluciones a los problemas identificados como prioritarios, deben ser consensuadas entre los actores. Dichas soluciones deben fincarse en criterios de eficacia y eficiencia de las intervenciones de las instituciones, dependencias, organizaciones y comunidades, y tomando como marco para ello la estructura y función de la cuenca.

En el capítulo III. Marco jurídico, se establece con claridad las obligaciones, facultades y competencias, que les adjudican las leyes, reglamentos y normas a los tres órdenes de Gobierno. Y lo que la sociedad ha reclamado es que cumplan con sus obligaciones, pues se observa inacción de las dependencias, sobre todo contra municipios, empresas o personas que generan contaminación sin sanción alguna.

6.- Desarrollar sistemas de monitoreo e información

Crear sólidos sistemas de monitoreo para generar líneas base y datos que permitan evaluar la planeación e intervención en las cuencas hidrográficas de México. Los sistemas de monitoreo complementarán y apoyarán la toma de decisiones, los procesos de manejo adaptativo y la mejora continua.

Se pretende con el Plan Integral a desarrollar, generar reuniones de avance y de coordinación interinstitucional, donde la sociedad organizada participe y se le haga de su conocimiento los alcances logrados, los recursos invertidos y las metas cumplidas, pues durante muchos años se ha observado que se ha gastado recurso, sobre todo en infraestructura de saneamiento, que al poco tiempo deja de funcionar.

2.4.1. Estructura y dinámica de un río

Los ríos son componentes esenciales sistemas socio-ecológicos de gran complejidad, altamente valorados por los bienes y servicios ecosistémicos que proveen como la aportación de agua dulce para el consumo humano (recordando que a través de la lluvia constituyen la principal entrada de agua a las cuencas), la conservación de flora y fauna mediante la conformación de cadenas tróficas y ciclo de nutrientes; la regulación de microclimas y el control de inundaciones sin olvidar actividades sociales vinculadas a su funcionamiento como el transporte, la recreación y el turismo.

Los ríos han tenido una fuerte alteración hidrológica, morfológica y ecológica por cambios asociados al desarrollo de actividades agropecuarias, industriales; a la urbanización de las cuencas y a la construcción de obras hidráulicas, principalmente presas. Durante todo el siglo XX, el crecimiento urbano gestionó los ríos bajo un paradigma sanitarista que los incorporó al sistema de drenaje, entubó sus cauces y expulsó su agua lo más rápido y lejos posible de las ciudades para evitar desbordamientos que trajeran consigo epidemias y otros problemas de salud pública (Eden y Tunstall, 2006; González, Hernández, Perló y Zamora, 2010; Tucci, 2008; 2012; Walsh *et al.*, 2005). Este paradigma se ha ido debilitando en las últimas décadas por el agotamiento de fuentes locales de agua potable, que ha implicado trasvasarla de otras cuencas con un costo económico elevado, pero también por un marco de referencia relacionado a la sostenibilidad urbana que busca un manejo integrado de los recursos hídricos y la construcción de espacios públicos de calidad al interior y en la periferia de las ciudades que provean servicios ecosistémicos y favorezcan sitios para la convivencia social (Bolund y Hunhammar, 1999; Brown, Keath y Wong, 2009; Stanton, 2007; Tunstall, Penning-Rowsell, Tapsell y Eden, 2000).

2.5. Sistema Fluvial

La Ley de Aguas Nacionales establece la definición de río como: “corriente de agua natural, perenne o intermitente, que desemboca a otras corrientes, o a un embalse natural o artificial, o al mar”. En contraste a lo señalado por González (2007), en las mesas de trabajo de la estrategia nacional de restauración de ríos, se definen como “sistemas naturales enormemente dinámicos y complejos”, su principal función es el transporte de agua, sedimentos, nutrientes y seres vivos, pero, además conforman corredores de gran valor ecológico, paisajístico, bioclimático y territorial, que enlazan montañas y tierras bajas”.

Así mismo, de acuerdo con Ballarín-Ferrer & Rodríguez-Muñoz (2013), son el principal sistema de erosión, transporte y sedimentación dentro del ciclo de denudación continental, y desempeñan otras funciones asociadas (corredor ecológico, corredor bioclimático, hábitat, sistema regulador de escorrentías extremas, sistema de depuración, sistema regulador de salinidad marina y de la dinámica litoral, etc.); así como otras, que se manifiestan localmente (ecotono, barrera, filtro, fuente y sumidero de agua, fuente y sumidero de carbono, partículas, organismos, nutrientes, etc.).

Ollera (2015), señala que es mejor hablar de ellos como sistemas fluviales, debido a que una cárcava, un torrente, un barranco o un gran río funcionan igual y tienen la misma función en el planeta. Solo se diferencian en el tamaño y en la escala. De esta forma se puede determinar que “todo el sistema fluvial”, en el que se llevan a cabo procesos físicos y biológicos, desarrolla una condición de equilibrio en respuesta a factores externos como la tectónica, geología, suelos, clima y uso del suelo (Schumm, 1977).

Por otra parte, hablar de sistemas fluviales es indicar la existencia de un sistema complejo integrado en los ciclos del agua, de la materia sólida y elementos biogeoquímicos, resultado de un complejo mecanismo climático, hidrológico, geomorfológico y ecológico de movilización o conducción superficial de aguas continentales, acompañadas de los materiales que transportan sedimentos, nutrientes y seres vivos o partes de estos, en el sentido de la pendiente; a veces, contracorriente, hasta que llegan a los

océanos o a los lagos o mares interiores.

A escala de tramo, el cauce suele presentar gran diversidad de formas, con rápidos y pozas, presas de materiales orgánicos, barras de sedimento, etc., que constituyen hábitats donde aparecen comunidades biológicas diferenciadas, así, los organismos que viven en rápidos necesitan mecanismos de sujeción, disponen de elevadas concentraciones de oxígeno y los materiales son renovados de manera continua, y los que viven en pozas lo hacen en un medio mucho menos turbulento, pero a menudo deben afrontar bajas concentraciones de oxígeno, es por ello que, el hábitat físico del cauce determina en buena parte el funcionamiento biológico fluvial y contribuye a procesos de autodepuración en su conjunto.

Otro elemento esencial del ecosistema fluvial, es la zona de ribera y la llanura de inundación, que suelen quedar cubiertas de agua en períodos de crecida, de esta forma. La vegetación de ribera es una interfase entre los ecosistemas terrestres vecinos, el agua freática y el cauce fluvial. Por otra parte, se puede delimitar el espacio fluvial mediante diversos criterios, partiendo de fundamentos ecológicos, hidráulicos y/o administrativos.

Según la Ley de Aguas Nacionales define al cauce de una corriente, como: “el canal natural o artificial que tiene la capacidad necesaria para que las aguas de la creciente máxima ordinaria escurran sin derramarse. Cuando las corrientes estén sujetas a desbordamiento, se considera como cauce, el canal natural, mientras no se construyan obras de encauzamiento; en los orígenes de cualquier corriente se considera como cauce propiamente definido, cuando el escurrimiento se concentre hacia una depresión topográfica y éste forme una cárcava o canal, como resultado de la acción del agua fluyendo sobre el terreno.

No existiendo otras referencias en la Ley de Aguas Nacionales en relación a la definición de los elementos que delimitan el sistema fluvial, se delimitará mediante fundamentos ecológicos. La ribera se define básicamente como la franja próxima al curso de un río o a la superficie de un estanque, que abraza el límite superior de la zona inundable; en este sentido, el agua sólo la ocupa totalmente durante las inundaciones de período de retorno más elevado.

Una vez definido desde un punto de vista ecológico el concepto de río, cauce, sistema fluvial se examinarán los elementos que los contaminan, destacando aquí, que las condiciones actuales de tramos de los ríos Atoyac y Salado no funcionan sino como drenajes, para lo cual su recuperación implica no solamente una visión de ingeniería, sino ambiental, para recuperar y rehabilitar sus condiciones y funciones naturales.

2.5.1. Contaminación de los Sistemas Fluviales

La contaminación se define como cualquier sustancia presente en una concentración mayor que la que se presenta naturalmente, como resultado de la actividad humana y que tiene efecto detrimento sobre el ambiente, o sobre algo de valor en el ambiente (Ollero *et al.*, 2013).

Según su origen la contaminación se puede clasificar en dos tipos: de origen natural que escapa a la influencia del hombre y la contaminación provocada por las actividades del hombre, denominada antropogénica.

Existen numerosas fuentes de contaminación antropogénica que podemos clasificar de forma sencilla en función de:

- Origen
- Tipología del contaminante
- Forma de entrada en el sistema fluvial

En función de su origen existen tres fuentes principales de contaminación: aguas residuales urbanas, contaminación procedente de la industria y contaminación procedente de la actividad agropecuaria (Cuadro 2.1).

Cuadro 2.1. Clasificación de fuentes de contaminación según su origen.

Fuentes de contaminación según su origen	Descripción
Contaminación de origen municipal (aguas residuales urbanas, residuos sólidos urbanos, residuos de construcción)	Las aguas residuales se tratan de todas las aguas que reciben los desechos orgánicos de origen humano y animal procedentes de núcleos de población. Su principal componente son los desechos fecales y orina. Junto con estos desechos se vierten numerosas sustancias farmacéuticas (provenientes de medicamentos) que están teniendo un impacto muy significativo en los organismos acuáticos. Por su parte los “residuos” según la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente para el Estado de Oaxaca, señala que “son “cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó”, de esta forma los residuos sólidos urbanos son aquéllos generados en las casas habitación o los que provienen de cualquier otra actividad de establecimientos o en la vía pública que posea características domiciliarias.
Contaminación industrial	Compuesta por los vertidos de las industrias. La contaminación es de origen químico, y dada la enorme diversidad de sustancias que se utilizan y sintetizan en la industria, la composición y peligrosidad de estos vertidos puede ser muy variable.
Contaminación de origen agropecuario	Es la contaminación procedente de la agricultura y la ganadería. En estos casos hay varios tipos de contaminación: nutrientes (principalmente nitratos y fosfatos derivados de los abonos), pesticidas, fitosanitarios y medicamentos de animales de granja (diversos productos químicos) y sedimentos, frutos de los fenómenos erosivos consecuencia directa de las prácticas agrarias.

2.5.2. Tipos de Sustancias Contaminantes:

El agua que escurre a través de un río, puede ser contaminada por la descarga de aguas residuales que pueden transportar diferentes tipos de sustancias contaminantes. Estas se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- **Agentes biológicos:** este tipo de contaminación se relaciona con la presencia de microorganismos patógenos principalmente de heces humanas y animales. Estos son comunes encontrárselos en los cuerpos de aguas superficiales, y sub superficiales. Es importante conocer el tipo, número y desarrollo de las bacterias en el agua para prevenir o impedir enfermedades de origen hídrico. Es difícil detectar en una muestra organismos patógenos como bacterias, protozoarios y virus debido a sus bajas concentraciones. Por esta razón, es que se utiliza el grupo de coliformes, como indicador de la presencia de microorganismos (OPS, 1999).
- **Sustancias orgánicas:** son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, animales domésticos o ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso y llegan a cuerpos de agua, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en ellos peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de Oxígeno Disuelto (OD) en agua, o la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).
- **Sustancias inorgánicas:** en este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. La mayor parte de estas sustancias son sales inorgánicas (cloruros, sulfatos, silicatos y óxidos metálicos). Si están en cantidades altas pueden causar graves daños

a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.

- **Sustancias radioactivas:** estas sustancias provienen de residuos de ciertas industrias, centros de investigación y hospitales que manipulan y utilizan este tipo de compuestos.
- **Otros contaminantes:** en este grupo se pueden mencionar el color, espuma y calor que pueden causar problemas. El color y espuma limitan la penetración de la luz y pueden reducir los niveles de OD, alterando así el equilibrio ecológico natural del agua. El calor también está relacionado con la utilización del oxígeno porque a una temperatura más alta el crecimiento de la vida acuática es más rápido y la descomposición se acelera.

2.5.3. Contaminantes según su forma de entrada en el sistema fluvial

También es importante considerar la clasificación de la contaminación en función de su entrada en el sistema fluvial. Según esto podemos distinguir entre la contaminación puntual y la contaminación difusa (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2 Diferentes tipos de contaminación según su forma de entrada en el sistema fluvial.

Tipos de contaminación	Descripción
Contaminación puntual	Es aquella fácilmente localizable a través de puntos de vertido concretos, bien sean en la salida de efluentes de depuradoras (de origen urbano o industrial) o vertidos directos de pequeñas industrias, núcleos de población, etc.
Contaminación difusa	Es aquella que se produce de manera deslocalizada y que por tanto es más difícil de regular y vigilar. La actividad agropecuaria (utilización de agroquímicos y herbicidas) junto con la urbanización descontrolada de determinadas áreas son las principales fuentes de este tipo de contaminación.

En el capítulo V. Diagnóstico, derivado del análisis histórico de datos de la Red Nacional de Monitoreo, se determinaron parámetros que históricamente salen por arriba de la NOM-001-SEMARNAT-2009 y esto permitió ubicar fuentes de contaminación puntuales (descargas, tiraderos de basura, tiraderos de escombros) y difusas (puntos de quema de residuos principalmente) que generan alteración y contaminación hacia los ríos Atoyac y Salado. Algunas de las descargas ubicadas, como la que se localiza en el municipio de Santa Lucía del Camino, propician la contaminación varios metros aguas abajo, agravando el problema.

2.6. Otras fuentes de impacto y alteración de los sistemas fluviales

La otra gran fuente de impacto ambiental sobre los ríos, son todo tipo de alteraciones que se producen directamente sobre su estructura y funcionamiento natural o sobre sus hábitats y su biodiversidad. Para desgranar mínimamente las principales fuentes de impacto, se utilizaron dos formas de clasificarlos; por un lado, atendiendo a si la alteración afecta a la conectividad lateral, longitudinal o vertical, y por otro lado según el origen de la alteración, para completar así el listado.

Cuadro 2.3. Principales alteraciones e impactos sobre cauces fluviales que afectan a la conectividad.

Tipo de conectividad afectada	Acción	Origen/tipo de acción
Conectividad lateral	Reducción del espacio fluvial o territorio de movilidad fluvial	Urbanismo (casas habitación), agricultura, infraestructuras (carreteras, líneas férreas, canales de riego, etc.)
	Obras de defensa	Encauzamientos con hormigón, escolleras, fortificación situada sobre un cerro
	Destrucción de la vegetación de ribera	Talas incontroladas, limpiezas de cauces, desarrollo de especies invasoras, incendios provocados
Conectividad longitudinal	Presas (de abastecimiento, riego o aprovechamiento hidroeléctrico)	
	Presas de derivación (para riego o aprovechamiento hidroeléctrico)	
	Otras infraestructuras transversales	Vados y pasos
Conectividad vertical	Captaciones de agua y sobreexplotación de acuíferos	Bombes de agua desde el cauce, pozos al interior del cauce de ríos y arroyos

2.6.1. Monitoreo de la Calidad del Agua

En México, los datos sobre la calidad del agua se obtienen a través de la Red Nacional de Monitoreo, la cual en 2008 constaba de 389 estaciones permanentes y 285 móviles (CONAGUA, 2008). Para el área de estudio se tiene ubicado 12 sitios de monitoreo de agua superficial y 7 de agua subterránea, en los que se realizan evaluaciones bimestrales desde el año 2012, a la fecha, en puntos fijos ya establecidos. Para la evaluación de estos puntos se contratan laboratorios certificados quienes se encargan de tomar las muestras y realizar los análisis del agua en base a la normatividad existente, entregando a la CONAGUA los resultados obtenidos.

Toda estrategia de administración del agua o gestión de la calidad del agua, tiene como meta conservar o mejorar la calidad del agua en general; a su vez, en el camino hacia esta meta y bajo un esquema organizado se establecerán actividades específicas para sus objetivos asociados. De esta forma podemos hablar de una jerarquía de actividades y objetivos, en donde la meta u objetivo final es el control de la calidad del agua, y hacia abajo existe una pirámide con objetivos que van de lo fundamental a lo complejo, apoyándose uno sobre otro (Figura 2.1). (CONAGUA. Documento para su Desarrollo e implementación, versión I.I).

Figura 2.1. Pirámide de objetivos para el mejoramiento de la calidad del agua.



Como se indicó anteriormente, la base de datos de la Red Nacional de Monitoreo 2012-2019, sirvió para realizar un análisis histórico de la contaminación de los ríos Atoyac y Salado, de aquí que se pueda seguir manteniendo programas de monitoreo y evaluación que permita contar con datos de calidad, tanto de agua como de otros elementos ambientales que faciliten la evaluación de las afectaciones o recuperaciones en el área de estudio.

2.7. Agua potable

Dentro del término de agua potable se cuenta con definiciones establecidas por la CONAGUA (2019):

- Para la demanda de agua, es la antidad de agua requerida en las tomas para consumo de una localidad o área de proyecto, considerando los diferentes usuarios (domésticos, comerciales, industriales, turísticos, entre otros) que ahí tienen lugar, más las pérdidas físicas del sistema.

Para determinar la cantidad de agua que se requiere, se determina una dotación, que es la cantidad de agua necesaria para satisfacer la demanda de la población en un día medio anual, siendo el cociente de la demanda entre la población de proyecto.

El consumo de agua, es el volumen de agua utilizado para cubrir las necesidades de los usuarios. Hay diferentes tipos de consumos: doméstico, no doméstico (dividido en comercial e industrial) y público urbano. Este se puede obtener directamente de las mediciones en la toma domiciliaria.

Como parte del agua potable, se deben de establecer fuentes de abastecimiento que puede ser cuerpos de agua, subterráneo o superficial, desde la cual se toma el agua para suministro al sistema de distribución, que es el conjunto de tubería, piezas especiales, válvulas y estructuras que conducen el agua desde los tanques de regulación hasta las tomas domiciliarias o hidrantes públicos.

Las personas que recibe el servicio de suministro de agua potable para su consumo, a través de una toma domiciliaria, se les denominan usuarios.

2.8. Aguas residuales

De acuerdo a la CDHCU, 2021, las aguas residuales son aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Existen diferentes tipos y clasificaciones de las aguas residuales, dependiendo su proveniencia y son tres:

- Las aguas negras, pasan a aguas residuales y son las provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.
- Las aguas grises pasan a aguas residuales y provienen de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras, que aportan sólidos suspendidos, fosfatos, grasas y coliformes fecales, esto es, aguas residuales domésticas, excluyendo las de los inodoros.

A su vez estos dos tipos de agua residual se clasifican en aguas residuales municipales.

- Las aguas negras industriales, se le llama así a la mezcla de las aguas negras de una industria en combinación con las aguas residuales de sus descargas. Los contaminantes provenientes de la descarga están en función del proceso industrial, y tienen la mayoría de ellos efectos nocivos a la salud si no existe un control de la descarga. Estas se clasifican en aguas residuales industriales y existen las aguas residuales industriales que son tratadas y las no tratadas (Van der Hoek, 2004).

2.8.1. Uso de las aguas residuales

El uso que se le da a las aguas residuales puede ser: un uso directo de agua no tratada, un uso directo de las aguas residuales tratadas y por último el uso indirecto de las aguas residuales. Estas se diferencian en la forma en que son aplicadas a la tierra a partir de un sistema de alcantarillado de aguas residuales u otro transporte como un canal de agua de riego, se les conoce generalmente como utilización directa de las aguas residuales sin tratar. El uso directo de las aguas residuales tratadas en donde existe un control sobre el transporte de estas aguas desde el punto de descarga hasta una planta de tratamiento y hay una zona controlada en la que se utilizan para el riego.

El uso indirecto de las aguas residuales ocurre cuando las aguas residuales municipales e industriales están sin tratamiento y no hay un seguimiento del curso del agua, por lo cual están sin un sistema de alcantarillado o canal (Assano, 1988, citado en Nuñez, 2015).

2.8.2. Indicador de Presencia de Aguas Residuales

El indicador de Presencia de Aguas Residuales, incluye la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Nitrógeno Amoniacal ($N-NH_4$) y Oxígeno Disuelto (OD). En caso de que alguna de las tres variables principales de este indicador, no se hayan medido, se puede considerar la incorporación como variable de apoyo la de coliformes fecales.

Para el manejo, análisis y presentación de los datos de este indicador, la propuesta de criterios de comparación se muestra a continuación.

Cuadro 2.4 Tabla Valores de comparación para el indicador de aguas Residuales. (Fuente Comisión Nacional del Agua (2003). Documento Indicadores ambientales de Calidad del Agua. Volumen IV. Indicador de Presencia de Aguas Residuales.

Variable	Valor resumen	Valor criterio	Fuente
DBO₅	Percentil 75	10 mg/L	Experiencia del personal de la Subgerencia de laboratorio y Monitoreo de la CONAGUA
N-NH₄	Percentil 75	1 mg/L	Experiencia del personal de la Subgerencia de laboratorio y Monitoreo de la CONAGUA
OD	Percentil 25	5 mg/L	Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua (CE-CCA-001/89) para la protección de la vida acuática
Coliformes Fecales	Percentil 50	1,000 (NMP) Auxiliar	Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996)

La clasificación “sin presencia de aguas residuales”, se otorga a una unidad hidrológica de trabajo donde las 3 variables tienen una situación positiva (+) si faltará alguna de las 3 variables se puede tomar el valor de coliformes fecales. La clasificación “se presume presencia de aguas residuales”, se otorga a diferentes combinaciones de resultados de las comparaciones, con la condición de que solo una comparación resulte en una situación negativa. La clasificación “clara presencia de aguas residuales” se otorga a aquellas unidades hidrológicas de trabajo donde 2 o 3 variables sobrepasan el valor criterio. En caso de que alguna variable no tenga datos se marcará con *.

Las reglas de calificación se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 2.5. Calificación de acuerdo a los valores establecidos para la Presencia de aguas Residuales. (Fuente: Comisión Nacional del Agua (2003) Documento Indicadores Ambientales de Calidad del Agua. Volumen IV. Indicador de Presencia de Aguas Residuales).

Resultado de la comparación DBO ₅	Resultado de la comparación N-NH ₄	Resultado de la comparación OD	Calificación
+	+	+	Sin presencia de aguas residuales.
+	+	-	Se presume presencia de aguas residuales.
+	-	+	
-	+	+	
-	-	+	Clara presencia de aguas residuales.
-	+	-	
+	-	-	
-	-	-	

A continuación, se muestra la definición del Indicador Presencia de Aguas Residuales:

Cuadro 2.6. Definición del Indicador presencia de Aguas Residuales.

Indicador	Variable	Significado
Presencia de aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> • DBO₅ • Nitrógeno amoniacal • O₂ • Coliformes fecales 	El agua residual puede entenderse como las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos, y en general cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (NOM-001-SEMARNAT-1996). Cuando las concentraciones de las variables consideradas indican una situación negativa general en el cuerpo de agua, debe entenderse que se ha superado la capacidad de dilución y

Indicador	Variable	Significado
		<p>asimilación de dicho cuerpo y que las características fisicoquímicas y microbiológicas de aguas residuales de descarga predominan.</p> <p>Como signos de la predominancia de las aguas residuales se pueden asociar además de la baja en oxígeno disuelto, los florecimientos de algas, de plantas acuáticas y aumento de organismos patógenos, lo cual restringe el uso del agua.</p>

2.8.3. Plantas de tratamiento

De acuerdo a (INECC, 2018), el tratamiento de las aguas residuales es fundamental para evitar la contaminación por lo que se realizan tratamientos de forma individualizada para ambos tipos de aguas residuales, aplicando las tecnologías necesarias para cada tipo, profiriéndoles así las características necesarias para poder ser vertidas a las masas de agua, en este caso los ríos Atoyac y Salado (tras su tratamiento). Hay muchas formas de realizar el tratamiento de las aguas residuales, aunque el método más utilizado son las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) tanto municipales como industriales.

En estas PTARS, los métodos de tratamiento más comunes son los tratamientos primarios consisten en tratamiento físicos encargados de remover los sólidos de mayor tamaño y las grasas y aceites; los secundarios son procesos biológicos en los que actúan microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales de forma aerobia o anaerobia, esto es, con o sin oxígeno, respectivamente; y el tratamiento terciario consiste en procesos adicionales para la remoción de nutrientes (N y P) mediante procesos de nitrificación-desnitrificación, remoción biológica de fósforo o bien mediante coagulación-floculación. El tratamiento terciario avanzado, consiste en la desinfección de las aguas residuales mediante la eliminación de patógenos con cloro, ozono o luz UV.

Se describe en el Capítulo V. Diagnóstico las características de las PTARs encontradas en el área de estudio, donde se analizó el sistema de tratamiento de cada una, condiciones estructurales de la infraestructura, caudal tratado, funcionamiento, requerimiento de energía para el proceso de tratamiento, así como un análisis físico químico del agua a la salida de la PTAR para determinar su eficiencia con respecto a las normas aplicables. Toda la información sirvió para determinar la situación actual de la infraestructura y detectar puntos de mejora para eficientar que el agua tratada vertida a los diferentes cuerpos receptores cumpla con la normatividad vigente.

2.8.4. Descarga

Se entiende como descarga a la acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación (NOM-001-SEMARNAT-1996).

De acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales, en su título primero, capítulo único, en su artículo 2, la descarga es la acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor.

De igual manera la citada ley considera a un "Cuerpo receptor" como la corriente o depósito natural de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas, cuando puedan contaminar los suelos, subsuelo o los acuíferos.

2.9. Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos

La acumulación de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en arroyos, ríos o canales o su abandono en las vías públicas, además de propiciar contaminación puede provocar, durante la época de lluvias, obstrucción del drenaje y las alcantarillas ocasionando inundaciones y con ello afectación en zonas urbanas, pérdida de cultivos, bienes materiales y de vidas humanas.

La generación de residuos es un problema crítico ya que por una parte se están agotando los recursos naturales para la producción de bienes de consumo que, aunque se pueden volver a valorizar, termina en la basura; y por otra parte ante el creciente aumento de residuos, los espacios para su disposición final se está agotando ya que la tierra tiene un límite de capacidad de regeneración.

Por otra parte, los lixiviados que se generan principalmente de los tiraderos, tienen una composición diversa que depende mucho del tiempo de retención y los tipos de residuos con los que entra en contacto el líquido. El agua de lluvia que se filtra en los vertederos entra en contacto con residuos sólidos en descomposición y se contamina por una amplia variedad de sustancias nocivas para el ambiente tales como; metano, dióxido de carbono, ácidos orgánicos, alcoholes; o con excesiva carga de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno. Finalmente es infiltrada y llega a ponerse en contacto con las aguas superficiales y subterráneas, dañando una importante fuente de abastecimiento de agua potable para las ciudades.

La definición de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), contenida en la fracción XXXIII del Artículo 5 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), establece que son: los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole. Por otra parte, en el Artículo 10 de la LGPGIR se señala que: por tanto, los ayuntamientos son los responsables de la gestión integral de los RSU, contando, para ello, con la colaboración y el apoyo del gobierno estatal y federal.

Con base en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (SEMARNAT, 2020) algunos de los aspectos más relevantes que se encontraron, para el país, son:

- Generación: la generación per cápita calculada fue de 0.944 kg/hab/día y la generación total de residuos en el país se estima en 120,128 t/día.
- Clasificación: el 31.56% corresponde a residuos susceptibles de aprovechamiento, el 46.42% a residuos orgánicos y el 22.03% a "otros residuos".
- Recolección de residuos: de los residuos generados se recolectan 100,751 t/día, para una cobertura a nivel nacional del 83.87%.
- Transferencia de residuos: en el país existen 127 instalaciones para la transferencia de residuos, ubicadas en 112 municipios de 23 entidades federativas. De ellas, el 49.61% se ubican en municipios con población superior a 100,000 habitantes.
- Centros de acopio: hay 173 centros de acopio en operación en el país, en 63 municipios de 19 entidades federativas.

Según este estudio en el año 2017 el Estado de Oaxaca generaba 3,538 toneladas al día de las cuales solo 1,985 56.11 se recolectaban al día.

Los objetivos de la política para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos tienen como finalidad prevenir los impactos negativos al ambiente y a la salud humana ocasionados por el manejo

inadecuado de los mismos, siguiendo los principios: evitar o minimizar la generación, separar en la fuente, recuperar y reaprovechar todos los materiales que serán técnicamente posibles y económicamente factibles, y tratar adecuadamente los residuos restantes (SEMARNAT, 2001).

La Gestión Integral de los Residuos Sólidos puede ser definida como una disciplina asociada al control del Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (reducción en la fuente, reúso, reciclaje, barrido, almacenamiento, recolección, transferencia, tratamiento y disposición final) de una forma de armonizar con los principios de salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación, de la estética y de otras consideraciones ambientales, que responde a las expectativas públicas.

Figura 2.2. Elementos de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (Fuente SEMARNAT, 2001).



2.9.1. Prevención, gestión y manejo integral de residuos

Se entiende por prevención de los residuos al conjunto de acciones que debe llevar a cabo la autoridad, tanto federal, como estatal y municipal, en corresponsabilidad con la comunidad, para disminuir la cantidad de RSU generados, con el objetivo de que el servicio público de manejo integral de residuos sea eficiente y los daños al ambiente puedan ser disminuidos.

La gestión integral de los residuos comprende todas las acciones necesarias para su manejo, por ejemplo: expedición de reglamentos de limpia, estímulos para la reducción de la basura, promoción de centros de acopio, gestión de recursos y apoyos, capacitación, educación ambiental, el manejo integral, así como el impacto al medio ambiente natural y social.

El manejo integral es la parte técnica de la gestión integral e incluye todos los aspectos relacionados con los RSU; la generación, almacenamiento, barrido, recolección, traslado, tratamiento, aprovechamiento de materiales y disposición final. Si bien la gestión integral de los residuos sólidos urbanos es un modelo al que se buscaría llegar como política pública, la información y el análisis sobre las diferentes etapas del manejo de los residuos evidencia que la definición sobre “Gestión Integral de los Residuos” contenida en la LGPGIR difícilmente se cumple; lo que se tiene en la mayoría de los municipios es un sistema de manejo que se restringe a las actividades básicas de recolectar los residuos generados, trasladarlos y depositarlos en los sitios de disposición final (SEMARNAT, 2006).

En el ámbito estatal, la Ley de Residuos Sólidos de Oaxaca, en el Artículo 10 establece que la SEMAEDES tiene entre sus atribuciones coadyuvar en la planeación, organización, control y vigilancia

del Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos, con base en los lineamientos del Programa Estatal. Por otra parte, el Artículo 11, establece que entre las facultades de los Ayuntamientos son elaborar los Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos, así como emitir los bandos, ordenanzas, reglamentos, y demás disposiciones jurídico-administrativas de observancia general dentro de sus jurisdicciones respectivas, a fin de dar cumplimiento a lo establecido en la Ley en materia de gestión integral de residuos sólidos urbanos.

El Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (PMPGIRSU) es un instrumento estratégico y dinámico para la implementación de una política municipal, basado en un diagnóstico básico de la situación presente y bajo los principios de corresponsabilidad de los diferentes actores (gobierno federal y estatal, ciudadanía y sector privado) de acuerdo a los siguientes objetivos:

- Asegurar la prestación del servicio público de manejo integral de RSU.
- Limitar los impactos a la salud de corto, mediano y largo plazo.
- Limitar la afectación ambiental.
- Dar prioridad a la prevención y valorización de los RSU.
- Dar viabilidad operacional y económica.
- Considerar la situación socio-económica y,
- Brindar flexibilidad para la actualización del programa.

Los objetivos del programa y las acciones necesarias tienen que ser revisados continuamente y adaptados a cambios de la situación como consecuencia de los alcances obtenidos y a cambios de desarrollo, de la legislación y de los objetivos políticos de la municipalidad.

Derivado del análisis de fuentes puntuales de contaminación, se ubicaron tiraderos de diferentes residuos en los márgenes de los ríos Atoyac y Salado, además que en el Capítulo V. Diagnóstico, se describen las características de los centros de disposición final de los municipios que forman parte de este estudio. Se recalca que es importante atender este tema con los municipios, pues como se indicó, son los responsables directos de atenderlos, aunque también han expresado que requieren de mayor capacitación y recursos para poder capacitar, no solo a su personal de limpieza, sino también a la población para que coadyuve en el manejo de sus recursos, desde el hogar. Lo que facilitará este manejo.

2.10. Retos para la Sustentabilidad Hídrica de la Subcuenca Atoyac-Oaxaca de Juárez y los ríos Atoyac y Salado

Uno de los retos para la sustentabilidad es garantizar la seguridad hídrica, sea en el ámbito nacional, estatal o local. El concepto de seguridad hídrica es definido por la Naciones Unidas como la capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptables para sostener los medios de vida, el bienestar humano y el desarrollo socio económico, garantizar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con la misma, así como preservar los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política.

De acuerdo al Plan Estratégico de la Octava Fase del Programa Hidrológico Internacional (2014-2021) se plantean 5 elementos para garantizar el abastecimiento de agua para el ámbito global, regional y local:

- Aguas subterráneas en un ambiente cambiante
- Escasez y calidad del agua
- Desastres hídricos y cambios hidrológicos
- Agua y asentamientos humanos del futuro
- Ecohidrología: creación de armonía para un mundo sustentable
- Educación y cultura del agua: clave para la seguridad hídrica

Lo anterior implica que el agua se gestione de forma sostenible por medio del ciclo hidrológico, con enfoque interdisciplinario, para que contribuya a desarrollo socio-económico, refuerce la resistencia social a los impactos ambientales y las enfermedades transmitidas por el agua, sin poner en riesgo la salud actual y futura de los ecosistemas y las poblaciones.

El Área Focal 3.4 del I Plan Hídrico Internacional, aborda la problemática de la calidad y la contaminación del agua en el marco de la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH), principalmente en los temas para mejorar la capacidad jurídica, política, institucional y humana. “El manejo de la calidad tanto de las aguas subterráneas como de las superficiales habrá de quedar integrado al manejo de la cantidad de agua; esto como parte de la instrumentación de la GIRH, así como en los marcos de planeación y manejo en los ámbitos local, nacional y transfronterizo. Por tanto, esta área focal apunta a mejorar el entendimiento y conocimiento de la calidad de los recursos hídricos mundiales para el bienestar humano, así como instituir el otorgamiento de licencias para contaminación del agua y sistemas de cumplimiento para la sustentabilidad, con el fin de abordar las problemáticas de la calidad y contaminación del agua” (UNESCO, 2012).

Asimismo, en la GIRH, un control efectivo de la contaminación del agua y manejo de la calidad del agua requieren de un espacio propicio que incluya políticas y marcos jurídicos e institucionales. Una legislación concerniente al agua y al medio ambiente con su respectiva reglamentación, así como una regulación de la descarga de aguas residuales y una regulación de evaluación del impacto ambiental, son instrumentos jurídicos y normativos básicos para la concesión de recursos hídricos, evaluación ambiental y control de la contaminación. Para ello esta área focal también apunta a mejorar los marcos jurídicos, políticos e institucionales para el manejo de la calidad del agua, y desarrollar capacidad institucional y humana en el manejo de la calidad del agua y el control de su contaminación.

2.11. Saneamiento en los Ríos Atoyac y Salado

Podemos ubicar diferentes conceptos de intervención para responder a la problemática ambiental que presentan los ríos Atoyac y Salado que se pueden dar en diferentes niveles y en diferentes momentos. Para algunos autores (González, 2007), la noción de rescate es muy ambigua, ya solo implica la intención de recuperar un patrimonio ambiental y cultural en riesgo; persigue el objetivo de exhortar a diferentes grupos interesados en organizar una acción colectiva para frenar el deterioro ambiental del río y recuperar su valor en el espacio urbano. El rescate manifiesta la intención y la urgencia de actuar por algo que está en riesgo, en peligro; sin embargo, su uso no precisa en qué grado de intervención para su rescate.

Otro término usado en la materia es el de saneamiento que se trata fundamentalmente de limpiar el agua contaminada. Este término es muy usado para delimitar el campo de intervención del proyecto, ya que se reduce a frenar los efectos negativos que acontecen en el cauce: contaminación por agua residual y residuos sólidos.

Es por lo anterior que, el saneamiento de un río sigue siendo un proyecto con un objetivo preponderante de carácter ingenieril. En ese sentido, su uso se apega mucho al sentido clásico de intervenir un río, ya que el saneamiento también puede conllevar su entubamiento o canalización en aras de mejorar su calidad, para aprovechar el agua de otra manera o para proteger a la población de posibles enfermedades por la contaminación. De alguna manera la visión de un saneamiento se reduce a lo que pasa en el cauce y a la calidad del agua. La intervención correspondiente se restringe a esa escala.

Otro enfoque de intervención es la restauración que implica realizar las acciones adecuadas para que el ecosistema regrese lo más posible a sus condiciones naturales, a la situación original del río antes de que el hombre actuara sobre él y su entorno ambiental (Society for Ecological Restoration, 1994).

Ante la complejidad para alcanzar una auténtica restauración de los ríos, se va imponiendo el concepto de rehabilitación, que implica la recuperación de un funcionamiento más natural, restableciendo algunos elementos, procesos o funciones importantes. La rehabilitación es, por tanto, a lo que se puede aspirar en un sistema natural en el que no se pueden eliminar todas las presiones e impactos. Es un concepto muy amplio que involucra numerosas metodologías y prácticas. Un sistema fluvial rehabilitado puede cumplir con buena parte de sus funciones y servicios, aunque no haya logrado toda la naturalidad deseable.

Si bien los tipos de intervención son distintos nos son excluyentes y un proyecto que busca a largo plazo alcanzar la restauración de los ríos puede tener en diferentes fases y tiempos acciones de rescate, saneamiento y rehabilitación

De esta forma un proyecto que plantea mejora la condición de los ríos, tanto en contextos naturales, como urbanos, buscan la recuperación de funciones básicas del sistema natural, y su reconexión con el paisaje para conservar o potenciar la biodiversidad.

Para el caso del presente estudio se considera la rehabilitación y saneamiento, analizando que, dependiendo del grado de afectación de estos ríos, considerando zonas urbanas como rurales, se podrán determinar el grado y nivel de actuación, comprendiendo que no se podrá recuperar sus condiciones naturales prístinas, pero si la mejora de las condiciones actuales, considerando el nivel de intervención a nivel de subcuena, con visión integral, multidisciplinario y con la participación de los tres ordenes de Gobierno con la sociedad civil y ciudadanía.

2.12. Cultura del Agua y Educación

Para el manejo integral de cuencas y del recurso hídrico se debe considerar como un eje transversal fundamental la educación ambiental, la cual debe partir de un enfoque pedagógico que permita abordar la complejidad de la problemática ambiental presente.

Un modelo pedagógico es una estructura teórico conceptual que permite la ejecución de un proyecto específico. También orienta de forma coordinada y ordenada los planes y estrategias desarrolladas por un grupo educativo.

La educación para la sustentabilidad y educación en cuencas, se acerca más al modelo dialogante por los diferentes niveles de decisión e intervención de los actores involucrados, así como la predominancia de procesos de educación-acción y metodologías relacionadas con el enfoque de aprender-haciendo (Carvajal, 2013).

La gestión de cuencas requiere necesariamente de un proyecto educativo y de capacitación que conforme grupos organizados de trabajo, para las actividades de manejo y para la comprensión de la cuenca como unidad compleja, y de acciones integrales regionales o locales.

De esta forma los programas de educación para la sustentabilidad con enfoque de cuenca se deben construir desde una metodología participativa como resultado del dialogo entre los actores involucrados en el proceso del manejo de cuenca.

Por otra parte, es fundamental realizar una amplia campaña de comunicación dirigida a los habitantes de los municipios involucrados en el proyecto de restauración de los ríos Atoyac y Salado y en la gestión integrada de la cuenca.

En este apartado se abordaron conceptos relevantes que se consideraron en el desarrollo del presente estudio, en este sentido la Gestión Integrada de Recursos Hídricos plantea un cambio de enfoque en la gestión de los recursos hídricos pasando de la fragmentación a la integración, a la conservación y uso sostenible del agua, de la gestión de la oferta a la gestión de la demanda, de la centralización a la descentralización, del manejo de infraestructuras a la administración eficiente. Esta gestión incluye el manejo correcto de las aguas negras vertidas por las aguas residuales, principalmente municipales, y donde se ha observado que es uno de los principales problemas de contaminación en la Subcuenca RH20Ac en la que se encuentra inmersa el área de estudio. Plantas de tratamiento municipales con ineficiente manejo, abandonadas u operando debajo de su capacidad, se convierten en puntos de contaminación puntual que propician alteración aguas abajo de su punto de descarga, observando afectación a la diversidad de flora y fauna acuática, alteración de la calidad del agua que circula por los ríos y que limita la disponibilidad de agua superficial, y que si continúa, propiciaría expansión de la contaminación hacia el agua subterránea.

En este sentido, abordar la problemática ambiental identificada en el área de estudio, con visión integral de cuenca, permitirá tener elementos de solución de problemas basados en la comprensión de que el agua es parte integrante del ecosistema y del territorio, un recurso natural y un bien social y económico cuya cantidad y calidad determinan la naturaleza de su uso; y que de la comprensión y mantenimiento de ciclo del agua, con todas sus etapas dentro del área de estudio depende que sigamos teniendo agua disponible para la vida, de aquí que se considere fundamental recuperar y mantener en equilibrio este ciclo, desde el cuidado de las áreas boscosas en la parte alta hasta la regulación y ordenamiento del uso del territorio, sobre todo de áreas urbanas. Cobra relevancia entonces, con esta visión integral, que la alteración del ciclo y de la calidad del agua en alguna de sus etapas, repercute enormemente en la salud ambiental de la subcuenca y del área de estudio, propiciando o agravando conflictos socioambientales.

Este marco conceptual plantea además que a través del manejo integrado de cuenca, la correcta administración de los recursos hídricos, así como de la protección-recuperación de áreas que brindan múltiples servicios ambientales relacionados con el ciclo hidrológico, desde los servicios directos de provisión de bienes o productos, tales como el abastecimiento de agua para la población y para las actividades productivas, hasta la provisión de servicios indirectos tales como los de regulación y de hábitat, facilitarán la recuperación ambiental de la subcuenca, y la rehabilitación y saneamiento de los Ríos Atoyac y Salado. Esto se debe lograr a través de planes y estrategias de coordinación interinstitucional e intersectorial con todos los actores de la subcuenca, dependencias de los tres órdenes de Gobierno en conjunto con la ciudadanía.

Es importante resaltar que los servicios ambientales que brindan las cuencas hidrográficas generalmente no son valorados por las sociedades que la habitan, debido a la falta de cultura ambiental y conciencia ciudadana. Por ello, estos servicios enfrentan amenazas tales como, la sobreexplotación de los recursos, la contaminación de los cuerpos de agua y suelo, la construcción de infraestructura que alteran el funcionamiento natural de los ecosistemas sobre todo en márgenes de ríos y arroyos, entre otros. De aquí que se deba considerar también entre las estrategias de solución la cultura ambiental con visión integral de cuenca, para que la ciudadanía cobre conciencia que sus acciones impactan en mayor o menor medida al ambiente.

Es un hecho que algunos de los procesos de alteración del ambiente se generan desde los hogares. Utilizar demasiada agua en el inodoro o su desperdicio en el baño, y otras actividades como en el lavado de trastes, sin dimensionar la problemática y costos de llevar el agua hasta los domicilios o la de encontrar más fuentes de agua de calidad para abastecimiento de la población conlleva a que se de por hecho que Gobierno debe de proveer de este recurso por cualquier medio o que es un recurso ilimitado. De igual forma en el desconocimiento del impacto que tienen las descargas de aguas residuales directamente en el ambiente o en el ineficiente manejo de los residuos sólidos urbanos generados por la ciudadanía, sociedad productiva o por parte de los municipios se observa desinterés de las afectaciones en el ambiente generado por actividades antropogénicas, de aquí que el fortalecimiento de la cultura ambiental, entre toda la ciudadanía, sea un punto por abordar en cualquier estrategia que busque implementarse con visión integral de cuenca.