



Escenarios urbano-ambientales para el manejo integral de la Cuenca del Río Mololoa en Tepic, Nayarit

Alejandra Villagrana Gutiérrez
Jorge Ramírez Hernández

COORDINADORES



UNIVERSIDAD DE
GUADALAJARA
Red Universitaria e Institución Benemérita de Jalisco

CUAAD
CENTRO UNIVERSITARIO DE
ARTE, ARQUITECTURA Y DISEÑO



Universidad de Guadalajara

Dr. Ricardo Villanueva Lomelí
Rector General

Dr. Héctor Raúl Solís Gadea
Vicerrector Ejecutivo

Mtro. Guillermo Arturo Gómez Mata
Secretario General

**Centro Universitario de
Arte, Arquitectura y Diseño**

Dr. Francisco Javier González Madariaga
Rector

Dra. Isabel López Pérez
Secretario Académico

Dr. Everardo Partida Granados
Secretario Administrativo

D.R. © 2023, Universidad de Guadalajara
Av. Juárez 976. Col. Centro
C.P. 44100, Guadalajara, Jalisco, México.

ISBN 978-607-581-130-7

Este libro se terminó de editar
en diciembre de 2023.
Hecho en México.

**Escenarios urbano-ambientales para
el manejo integral de la Cuenca del Río
Mololoa en Tepic, Nayarit**
Primera edición, 2023

Coordinación

Alejandra Villagrana Gutiérrez
Jorge Ramírez Hernández

Textos

©Alejandra Villagrana Gutiérrez
Ramón Reyes Rodríguez
Esmeralda Berenice Mendoza González
José Andrés Gutiérrez Villanueva
Eliana Rodríguez Burgueño
Jorge Ramírez Hernández
Héctor Iván Molina Saldívar
Marco Romario Valenzuela Sarabia
Marco Antonio Garzón Zúñiga
Juan Manuel Vigueras Cortes
Eduardo Sánchez Ortiz

Diseño editorial de interior

Jorge Campos Sánchez
Diana Berenice González Martín

Corrección de estilo

Alejandro Campos Sánchez
Natalia Aguilar Rosado



Este trabajo está autorizado bajo la licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercialSinDerivadas 4.0 Internacional
(CC BY-NC-ND) lo que significa que el
texto puede ser compartido y redistribuido,
siempre que el crédito sea otorgado al autor,
pero no puede ser mezclado, transformado,
construir sobre él ni utilizado con propósitos
comerciales. Para más detalles consúltese
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



Índice

4 Agradecimientos

6 Prólogo

Ramón Reyes Rodríguez

PRIMERA PARTE

HACIA UN RÍO MOLOLOA SENSIBLE AL AGUA

CAPÍTULO 1

- 12 Diagnóstico de integración intersectorial entorno al río mololoa desde un contexto urbano-ambiental sensible al agua**

Esmeralda Berenice Mendoza González

CAPÍTULO 2

- 38 Análisis de la vivienda en el antiguo cauce del Río Mololoa desde la perspectiva de «Vivienda Adecuada».**

Alejandra Villagrana Gutiérrez y Andrés Gutiérrez Villanueva

SEGUNDA PARTE

**PLAN DE MITIGACIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIONES EN LA
CUENCA DEL RÍO MOLOOA**

CAPÍTULO 3

68 Diagnóstico del riesgo por inundaciones

Eliana Rodríguez Burgueño y Jorge Ramírez Hernández

CAPÍTULO 4

92 Situación hidrológica e hidráulica

Héctor Iván Molina Saldivar y Marco Romario Valenzuela Sarabia

CAPÍTULO 5

118 Acciones para la prevención de inundaciones

Jorge Ramírez Hernández

TERCERA PARTE

PROPUESTA DE SANEAMIENTO DEL RÍO MOLOOA

CAPÍTULO 6

151 Estado de la contaminación del Río Mololoa

Marco Antonio Garzón Zúñiga, Juan Manuel Vigueras Cortes y Eduardo Sánchez Ortiz

CAPÍTULO 7

174 Gestión del agua residual en la Cuenca del Río Mololoa

Eduardo Sánchez Ortiz, Marco Antonio Garzón Zúñiga y Juan Manuel Vigueras Cortes



Agradecimientos

A las tres universidades que desarrollaron el contenido de este libro y fortalecieron sus lazos académicos y de colaboración: La Universidad de Guadalajara, el Instituto Politécnico Nacional (campus Durango) y la Universidad Autónoma de Baja California.

A las instituciones involucradas que apoyaron en el desarrollo de este proyecto: El Gobierno del Estado del Estado de Nayarit y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología Dirección Regional 6 Occidente.



Prólogo

Dr. Ramón Reyes Rodríguez

Este libro nace como parte de la preocupación del Gobierno del Estado de Nayarit por abordar el problema de las inundaciones y la restauración del Río Mololoa en la ciudad de Tepic desde una visión holística. Esta nueva forma de afrontar este reto debería incluir tres aspectos fundamentales. Primero, establecer el estado actual de la administración urbana y los mecanismos de participación social y comunitaria para hacer posible un esquema que transcienda las administraciones locales, estatales y federales. En segundo lugar, evaluar la situación histórica de estos retos desde la visión hidrológica e hidráulica que permitan proponer soluciones estructurales y no estructurales que nos lleven a una mitigación efectiva de las inundaciones y disminuyan la vulnerabilidad de los habitantes de la ciudad de Tepic. Tercero, hacer un diagnóstico profundo de la calidad de los afluentes al río Mololoa que degradan la calidad del agua

y como mejorar estas costumbres que permitan hacer del corredor rivero-río Mololoa a su paso por la ciudad de Tepic un lugar de esparcimiento y convivencia, seguro para los habitantes de la ciudad de Tepic.

El territorio de Tepic se funda en el año 1884 en las inmediaciones del lecho del Río Tepic (ahora conocido como río Mololoa) y sobre el valle de Matatipac aprovechando la fertilidad de este valle y la presencia continua de agua en el lecho del río. Las amplias llanuras dieron lugar a extensos campos de arroz y caña de azúcar y al crecimiento de una comunidad que atrajo gente de otras partes de la región. La energía del río Mololoa fue empleada por la icónica fábrica de hilados y tejidos El Jauja que a partir de 1838 inició sus actividades. El crecimiento de la ciudad demandó diversos servicios, como el abasto de agua, que era en un principio realizado por “aguadores», y uno de los principales elementos de la modernidad la electricidad con la primera hidroeléctrica en el año 1902. No obstante, este crecimiento, los humedales que desbordaba el río Mololoa durante las épocas de lluvias permanecían inundados todo el año constituyeron un problema de salud y la ocurrencia de inundaciones en los barrios aledaños al río.

Instituida como la capital del Estado de Nayarit la ciudad mantuvo un crecimiento continuo que en la década de los años 70as se incrementó de forma sustancial aumentando su superficie sustancialmente, lo que motivó a rectificar el cauce del río Mololoa recuperando los humedales que formaban los antiguos meandros para la generación de vialidades amplias y modernas, así como de su urbanización. Esta urbanización requirió ofrecer de forma extensiva nuevos servicios a sus habitantes, como son drenaje sanitario y pluvial, redes eléctricas y pavimentado de calles, así como una red vial eficiente. El crecimiento de la ciudad no solo fue hacia el poniente, alcanzando el libramiento de la carretera Nacional 15 Tepic-Guadalajara y hasta los linderos del cerro San Juan, sino se extendió el oriente en la zona de La Cantera.

La rectificación del río Mololoa requirió la construcción de puentes que comunicaran ambos lados de la ciudad y amplias vías de comunicación como el

boulevard Colosio dándole un aspecto muy moderno a la ciudad con su corredor turístico en la margen izquierda del río, se redujo y en algunos casos se bloqueó la comunicación de los antiguos meandros con el cauce principal del río. Las terrazas medias de estas zonas fueron urbanizadas, pero en las zonas más bajas que sufrían inundaciones periódicas se han mantenido sin construir. Por el flanco poniente, los escurrimientos provenientes del Cerro San Juan que cruzan la ciudad para descargar en el río Mololoa eran parcialmente retenidos en el sistema de zanjas, que la presión urbana ha reducido a cárcavas muy deficientemente comunicadas que ya no son capaces de cumplir su función reguladora del flujo.

El recubrimiento de los suelos con concreto y asfalto en las superficies urbanizadas requirió la construcción de una red de drenaje pluvial que movilizara estos escurrimientos hacia el Río Mololoa, pero no ha sido suficiente. La superficie urbanizada continúa creciendo y la intensidad de las precipitaciones, por efecto de la variabilidad climática, es cada vez mayor, incrementando drásticamente el caudal pico durante tormentas severas, principalmente provenientes del Pacífico. Algunas zonas con cotas más bajas que el mismo río (antiguos meandros) y las zonas con deficiente cobertura de drenaje siguen sufriendo inundaciones poniendo en situación vulnerable a la población de Tepic.

El gobierno de Nayarit consciente de este peligro ha realizado diversas acciones para reducir el riesgo de sus habitantes, desde la ampliación de los sistemas de drenaje pluvial, limpieza del sistema de canales de conducción a cielo abierto, e inclusive la construcción de obras de infiltración, que si bien han reducido el peligro no han sido suficientes. Ante esa situación el gobierno de Nayarit en conjunto con el Conacyt utilizando el esquema de Fondo Mixto convocó, en el 2019, a realizar el estudio que permitiera atender la manera integral a través de un proyecto sustentado científica y técnicamente la toma de decisiones en relación a las inversiones en infraestructura y obra pública que propicie el combate a las inundaciones, el saneamiento y el mejoramiento de la imagen urbana del río Mololoa, todo ello bajo un esquema gestión de cuenca

con énfasis en su ciclo socio-cultural del agua, para el bien común y la justicia socio-ambiental. «Plan de manejo integral hidrológico y de saneamiento en la cuenca del río Mololoa en Tepic, Nayarit: escenarios urbano-ambientales sensibles al agua» para abordar la reducción del riesgo de inundaciones desde una visión más holística.

Este plan se aborda no solo desde el análisis de las acciones estructurales que se habían venido desarrollando en iniciativas anteriores. En la primera parte se analizan los esquemas de organización gubernamental con la sociedad a partir de la integración intersectorial: como parte de los lineamientos de agenda multisectorial participativa hacia un río Mololoa sensible al agua, exponiendo el proceso metodológico a partir del uso del concepto de integración intersectorial. Se evalúa el grado de integración que se tiene actualmente, identificando los elementos que intervienen, en donde se lleva a cabo esta integración y de qué forma. Se identifica, que si bien, ya existe una integración incipiente, es preciso formular estrategias urbano-ambientales sensibles al agua enfocadas en una visión integral de las políticas de ordenamiento y planificación del territorio, la implementación de una herramienta evaluativa que permitan la transición hacia la sustentabilidad urbana y ante todo colectar los datos que hagan viable el diseño urbano sensible al agua. De forma particular, se hace un diagnóstico desde la perspectiva de vivienda adecuada de los asentamientos sobre el antiguo cauce del río Mololoa, recuperados con la rectificación del cauce, desde una perspectiva de acceso a los servicios básicos de abastecimiento de agua y drenaje.

En la segunda parte, el estudio del proceso de inundación dentro de la ciudad se hace desde la perspectiva del análisis hidrológico de la cuenca del río Mololoa, mostrando la situación histórica de las inundaciones en la cuenca y particularmente en la ciudad de Tepic, el crecimiento de la ciudad y la presión que éste ejerce en el proceso precipitación-escurrimiento cuyos caudales crecen de forma continua. Para ello se aplicaron métodos indirectos de análisis que luego fueron calibrados con las mediciones históricas de la estación hidro-

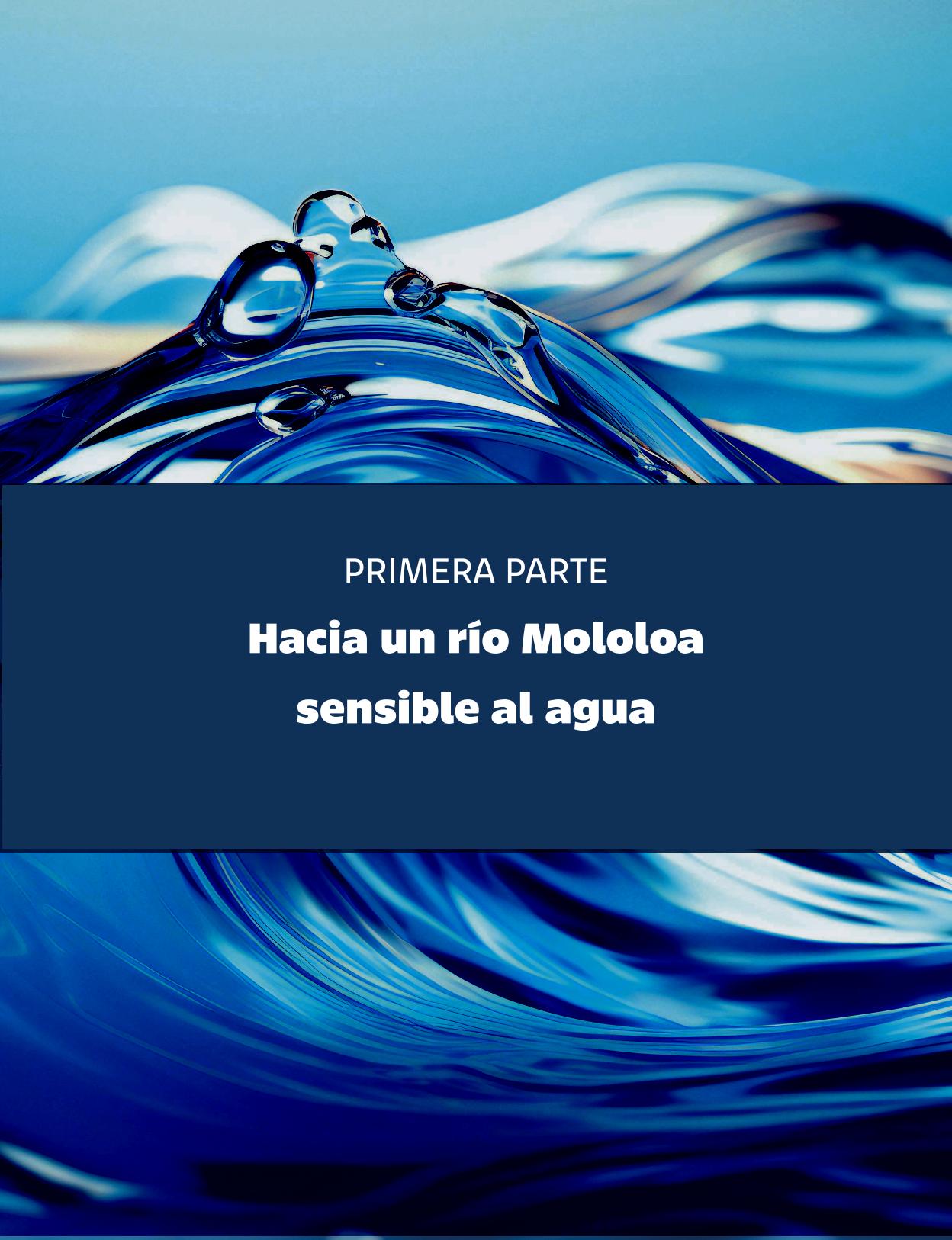
métrica Mololoa que opera la Conagua. Estos junto con los datos recopilados durante el año hidrológico 2020-2021 en diferentes sitios a lo largo del recorrido del río dentro de la ciudad, permitieron proponer acciones estructurales; tanto basadas en la naturaleza (verdes) como la construcción y modernización de obras hidráulicas (grises), y; no estructurales que requieren la participación activa, tanto del gobierno como de los diferentes sectores de la sociedad.

Finalmente la parte tercera, presenta la situación histórica y actual del sistema de saneamiento del agua que se vierte al río Mololoa proveniente tanto de los poblados y ciudades aguas arriba de la cuenca, antes del ingreso del río a la ciudad de Tepic como dentro de la ciudad, encontrando que si bien se tiene suficiente infraestructura para el tratamiento del agua, esta no funciona en condiciones adecuadas por la imposibilidad de cubrir, tanto el alto costo de la energía eléctrica como los costos de operación y mantenimiento a partir del 2017 en que pasó a la gestión municipal. Para mejorar el tratamiento del agua residual y con ello el saneamiento del río Mololoa se propone regular las descargas de origen industrial que van a la red municipal, mejorar la tarifa del agua para capitalizar al organismo operador y gestionar el uso del agua residual tratada como una fuente adicional para los cultivos de la región.

Este planteamiento integral requirió la participación de expertos en diversas especialidades y disciplinas, la integración intersectorial: como parte de los lineamientos de agenda multisectorial participativa hacia un río Mololoa sensible al agua y el análisis del concepto vivienda adecuada fueron abordados por el equipo del programa de Urbanismo y Territorio del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara, el análisis de la situación actual del saneamiento del agua del río Mololoa y las propuestas de gestión fue desarrollada por el grupo de saneamiento del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Durango. Instituto Politécnico Nacional, ambos pertenecientes al Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables, finalmente el análisis hidráulico e hidrológico del río Mololoa, así como las propuestas de soluciones

verdes promoviendo la creación de ciudades sensibles al agua para la para reducción de la vulnerabilidad a través mitigación de las inundaciones por el grupo de Ciencias de la Tierra del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California.

Todo ello aporta elementos para una visión holística de la restauración del Río Mololoa que permiten afrontarlo con bases científicas y sociales que si bien reducen la vulnerabilidad de los pobladores de la ciudad de Tepic ante eventos de inundación aplicando soluciones basadas en la naturaleza estableciendo los mecanismos para llevarlos a cabo con la participación de la sociedad y el gobierno.



PRIMERA PARTE

**Hacia un río Mololoa
sensible al agua**

Diagnóstico de integración intersectorial entorno al río Mololoa desde un contexto urbano-ambiental sensible al agua

Esméralda Berenice Mendoza González¹

Resumen

El presente capítulo es un producto obtenido del Diagnóstico de integración intersectorial: como parte de los lineamientos de agenda multisectorial participativa hacia un río Mololoa sensible al agua como parte del *Plan de manejo integral hidrológico y de saneamiento en la cuenca del río Mololoa en Tepic, Nayarit: escenarios urbano-ambientales sensibles al agua*. Por lo tanto, en este capítulo se muestra si los sectores en torno al río Mololoa, tales como: ordenamiento territorial, vivienda, medio ambiente y recurso hídrico implementan sus problemáticas y formulan sus estrategias de manera integral y bajo un contexto ambiental sensible al agua. Para ello, se expone el proceso metodológico a partir del uso del concepto de integración intersectorial; posteriormente, se desarrolla la metodología al responder cuatro preguntas que permiten obtener el grado de integración intersectorial (baja o alta) y son: ¿Qué se integra y comparte?

¹ Urbanista y Maestra en procesos y expresión gráfica para la proyección arquitectónica y urbana del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño (CUAAD). Correo electrónico: esmeralda.bmg@gmail.com

¿Quiénes intervienen en la integración? ¿Dónde se produce la integración? y ¿Cómo se realiza la integración?; por último, se exponen algunas conclusiones con respecto al tema.

Palabras clave: Integración intersectorial, sensible al agua, Río Mololoa.

Introducción

Existen sectores que trabajan de manera independiente problemáticas o estrategias caracterizadas por ser complejas y multicausales. Este trabajo monosectorial (o por un solo sector) es acompañado por una visión fragmentada del conocimiento, una duplicidad de actividades, una ejecución de técnica sin objetividad, imparcialidad y prescindencia, una fragmentación institucional, etc. (Mendoza-González, 2020)

La integración intersectorial es un concepto que permite a sectores² involucrarse de manera conjunta en los ámbitos instrumentales, institucionales, cognitivos y de ejecución-evaluación para solucionar problemas de aquellos sucesos que definan y asuman en común. Para conocer si dos o más sectores están *integrados* hay que identificar su grado de intensidad (baja o alta) y esta se obtiene con un proceso de recolección, comprensión, análisis o síntesis y evaluación de información comprendida en: el ciclo de la política, en la mancomunidad de ejecución de acciones y en la forma organizacional de los sectores involucrados; además, es requerido que durante el proceso se dé respuesta a ¿Qué se integra y comparte? ¿Quiénes intervienen en la integración? ¿Dónde se produce la integración? y ¿Cómo se realiza la integración? (Cunill-Grau, 2014)

De acuerdo con Cunill-Grau (2014) para que exista una baja o alta integración intersectorial se debe considerar lo mostrado en la siguiente tabla 1.

² En este capítulo se refiere a sector, al campo de intervención que ejercen las organizaciones o instituciones de carácter gubernamental, privado empresarial o sociedad civil, y estos pueden ser, por ejemplo: el sector salud y el sector ambiental.

Tabla 1 Determinantes en el grado de integración intersectorial.

Proceso aplicado en:	Alta integración. Intersectorialidad de alta intensidad:	Baja integración. Intersectorialidad de baja intensidad:
Ciclo de políticas (cinco fases): Primera: <i>planeación</i> ; Segunda: <i>formulación</i> ; Tercera: <i>adopción</i> ; Cuarta: <i>implementación</i> ; y Quinta: <i>evaluación</i> .	<p><i>Se comparte la formulación de las decisiones (incluidas las asignativas) y su seguimiento y evaluación.</i> (Inclusividad del ciclo de políticas)</p> <p>Planificación conjunta.</p> <p>Programación presupuestaria común.</p> <p>Seguimiento y evaluación compartidos.</p>	<p><i>Sólo se abarca una parte del ciclo de políticas.</i></p> <p>Por ejemplo, un plan de acción básico, coordinado por alguna instancia central, en el que interviene un órgano intersectorial de carácter técnico.</p> <p>Las actividades básicas de planificación, elaboración del presupuesto y evaluación siguen siendo asumidas sectorialmente.</p>
Mancomunidad	<p><i>Se comparte la ejecución de las decisiones, la información y los recursos</i></p> <p>Acciones, recursos y responsabilidades compartidas.</p> <p>Con un funcionamiento en red.</p>	<p><i>Sólo se comparten asuntos operacionales</i></p> <p>Por ejemplo, transferir información sobre un mismo público.</p> <p>El financiamiento de las acciones queda a cargo de una autoridad central.</p>
Forma organizacional	<p><i>Se producen alteraciones en las estructuras organizativas sectoriales</i> (Estructuras orgánicas supra-sectoriales al menos para la gobernanza común)</p>	<p><i>No existen arreglos para la acción intersectorial, salvo algún tipo de instancia técnica multisectorial</i></p>

Fuente: Cunill-Grau, 2014, p. 25. Tabla modificada por la autora.

Por lo tanto, lo anterior permite definir si los sectores en cuestión implementan un grado de integración intersectorial con baja o alta intensidad en su modo de gestión, organización y ejecución-evaluación relacionada con la solución de problemáticas.

Proceso metodológico

Como se mencionó anteriormente, el presente capítulo es producto de la elaboración del *Diagnóstico de integración intersectorial: como parte de los lineamientos de agenda multisectorial participativa hacia un río Mololoa sensible al agua* y debido al tiempo destinado para su elaboración, únicamente se trabajó en las dos primeras etapas del ciclo de la política (mostrados en la tabla 1) relacionadas con la planeación y formulación o en otras palabras la identificación de problemáticas y estrategias, con la finalidad de conocer ¿cómo se presenta la intersectorialidad en los sectores involucrados en el contexto urbano-ambiental?, y ¿cuál es la intensidad de integración (baja o alta) entre dichos sectores.

La metodología tuvo un alcance descriptivo y explicativo y se llevó a cabo a partir del siguiente proceso:

1. Recopilación y análisis documental de conceptos internacionales que orienten a una integración intersectorial urbano-ambiental sensible al agua, para identificar por objeto de estudio, factores relacionados con: problemáticas que pudieran presentarse y estrategias que pudieran implementarse por cada sector.
2. Selección de sectores involucrados en materia urbano-ambiental (acotando el tema ambiental en el contexto hídrico); para desarrollar, a partir de ellos, dos análisis: uno relacionado con los instrumentos de planeación y otro planteado desde las instituciones gubernamentales.
3. Selección de instrumentos de planeación, principalmente planes y programas de administración pública relativos a cada sector bajo estudio, para conseguir un análisis correlacional de aquella información que integran y se comparten, considerando como referencia, los factores u objeto de estudio.
4. Selección de instituciones gubernamentales de los sectores bajo estudio, para obtener un análisis del modo de su intervención y de su producción (vertical u horizontal), ya sea que se presente de la siguiente manera:

entre instituciones o sus propias áreas, entre niveles territoriales y entre los sectores bajo análisis (desde campo o tema de intervención).

El diagnóstico se llevó a cabo a nivel estatal (Nayarit), metropolitano (zona metropolitana de Tepic-Xalisco) y municipal (Tepic, Xalisco y Santa María del Oro), este debido a que cada nivel territorial interviene en el río Mololoa, tanto en los instrumentos de planeación como en la intervención de instituciones gubernamentales. A continuación, se describe brevemente información al respecto de cada proceso mencionado.

Objetos de estudio

Los conceptos internacionales aportan conocimientos para la identificación de problemáticas y formulación de estrategias que los sectores definan o asuman en común. Los conceptos utilizados para el presente diagnóstico son los siguientes: Derecho Humano al Agua (DHA), Ordenamiento Territorial y Recurso Hídrico (OTRI), Gestión Integral del Agua Urbana (GIAU), Ciudad Sensible al Agua (CSA), Diseño Urbano Sensible al Agua (DUSA), Derecho a la Ciudad (DC) y Derecho a una Vivienda Adecuada (DVA). De los conceptos anteriores, el análisis se centró en abordar problemáticas y estrategias relacionadas con los siguientes objetos de estudio:

Con relación a la problemática:

- Servicios de abastecimiento de agua y saneamiento.
- Abastecimiento de agua.
- Agua residual o saneamiento.
- Agua pluvial.
- Desvinculación entre el abastecimiento del agua, agua pluvial y agua residual o saneamiento (ciclo urbano del agua).
- Desvinculación entre actores o sectores.
- Respeto al entorno urbano o rural.

- Cuenca.
- Presión sobre el recurso hídrico.
- Legislación en materia de gestión del agua.
- Infraestructura.
- Problemática ambiental.
- Enfoque tradicional o convencional.
- Proyecto.
- Economía.
- Discriminación.
- Género.
- Inclusividad.
- Participación.
- Espacios y servicios públicos.
- Asequibilidad y accesibilidad.
- Ciudad sin vinculación.
- Seguridad jurídica de la tenencia.
- Disponibilidad de servicios, materiales, facilidades e infraestructura.
- Gastos soportables.
- Habitabilidad.
- Lugar.

Con relación a las estrategias:

- Reconocimiento explícito del derecho humano al agua.
- Disponibilidad.
- Calidad.
- Accesibilidad.
- Transparencia.
- Participación.
- Gestión de agua potable.
- Gestión de agua residual.

- Gestión de agua pluvial.
- Ciclo urbano de agua (captación, conducción, potabilización, distribución, consumo, tratamiento residual y desalojo).
- Vinculación con otros actores o sectores.
- Cuenca.
- Ciudad, desarrollo urbano o planeación urbana.
- Gobernanza sensible al agua.
- Capital comunitario.
- Equidad de servicios esenciales.
- Productividad y eficiencia de los recursos.
- Salud ecológica.
- Espacio urbano de calidad.
- Infraestructura adaptable.
- Naturaleza.
- Gestión integrada del agua.
- Conservación del agua.
- Resiliencia ante riesgo de inundación.
- Discriminación.
- Género
- Inclusividad.
- Participación.
- Espacios y servicios públicos.
- Asequibilidad y accesibilidad.
- Economía
- Vinculación
- Seguridad jurídica de la tenencia.
- Disponibilidad de servicios, materiales, facilidades e infraestructura.
- Gastos soportables.
- Habitabilidad.
- Lugar.
- Adecuación cultural.

Es indispensable mencionar que en total se obtuvieron 197 factores relacionados con la identificación de problemáticas y 182 factores correspondientes a formulación de estrategias, factores obtenidos de 54 referencias³ documentales. Los factores ayudaron a conocer por cada concepto y objeto de estudio ¿cuáles son las posibles problemáticas y estrategias que mencionan los sectores bajo análisis? Algunos ejemplos de factores relacionados con la identificación de problemáticas y en específico con el objeto de estudio enfocado en el abastecimiento de agua son:

- Uso excesivo y contaminación del recurso hídrico.
- Modificación del entorno natural por la construcción de obras de infraestructura para abastecimiento.
- Falta de identificación de necesidades principales de los afectados.

Algunos ejemplos de factores analizados para la formulación de estrategias relacionadas con el objeto de estudio, equidad de servicios esenciales, son:

- Acceso equitativo a la protección del suministro de agua potable.
- Acceso equitativo a un saneamiento seguro y confiable.
- Acceso equitativo a la protección contra inundaciones.

Principales sectores involucrados

Los principales sectores seleccionados desde un contexto urbano-ambiental para el presente diagnóstico de integración intersectorial son: *ordenamiento territorial o desarrollo urbano, vivienda, medio ambiente y recurso hídrico*. Estos sectores definieron la selección de los instrumentos de planeación y las instancias gubernamentales para desarrollar sus respectivos análisis.

³ En el anexo 1 se muestran las citas de aquellos documentos (por cada concepto) que aportaron en la selección de los objetos de estudio y factores (problemáticas y estrategias).

Instrumentos de planeación bajo análisis

Los instrumentos de planeación analizados por cada nivel territorial y por cada sector bajo análisis se mencionan a continuación.

A nivel estatal.

- Sector del ordenamiento territorial o desarrollo urbano y vivienda: Programa Estatal de Vivienda, Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial 2011-2017 de 2014 (Nayarit); Programa de Ordenación del Territorio 2017-2021 de 2019; Programa de Consolidación de Asentamientos Humanos y Vivienda de Interés Social en Nayarit para el 2017-2021 de 2019.
- Sector del medio ambiente: Programa Integral de Protección del Medio Ambiente 2011-2017 de 2014.
- Sector recurso hídrico: Programa de Cuidado y Sustentabilidad del Agua 2017-2021 de 2019.

A nivel metropolitano y municipal:

Los municipios de Tepic y Xalisco actualmente cuentan con un instrumento de planeación de orden metropolitano llamado: Plan de Ordenamiento Territorial de la Zona Metropolitana Tepic-Xalisco de 2018, debido a que es el documento en cuestión de ordenamiento territorial con fecha de actualización más reciente de ambos municipios, únicamente es considerado como parte del diagnóstico, pero no analizado⁴, debido a la ausencia de instrumentos de planeación que integre a ambos municipios a partir de cada campo de estudio bajo análisis (recurso hídrico, medio ambiente y vivienda.).

Por consiguiente, desde el contexto municipal solo se analizaron los instrumentos de planeación del municipio de Santa María del Oro que son: Plan de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Santa María del Oro, Nayarit

⁴ Es considerado y no analizado por la ausencia de instrumentos en los otros sectores bajo análisis a esta escala territorial, debido a que no permite realizar una comparativa de qué se integra o se comparte, por lo tanto, no es de interés analizar a un sector únicamente.

de 2005 y Programa de Ordenamiento Ecológico de la Cuenca de la Laguna de Santa María del Oro, Nayarit de 2003, siendo los representativos del sector urbano y del medio ambiente.

Instancias gubernamentales bajo análisis

Para cada nivel territorial analizado se seleccionaron las siguientes instituciones gubernamentales:

- Nivel estatal: Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Nayarit (sector del medio ambiente y ordenamiento territorial), la Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Nayarit (sector hídrico), el Consejo de Cuenca Río Santiago (sector hídrico) y el Instituto Promotor de la Vivienda de Nayarit (sector vivienda).
- Nivel metropolitano: Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN).
- A nivel municipal: Ayuntamiento Municipal de Tepic, Ayuntamiento Municipal de Xalisco y Ayuntamiento Municipal de Santa María del Oro.

El grado de integración intersectorial

Para conocer el grado de integración intersectorial que existe en los sectores involucrados (*ordenamiento territorial o desarrollo urbano, vivienda, medio ambiente y recurso hídrico*) es indispensable dar respuesta a ¿Qué se integra y comparte? ¿Quiénes intervienen en la integración? ¿Dónde se produce la integración? y ¿Cómo se realiza la integración? (Cunill-Grau, 2014). Las respuestas se obtuvieron de dos principales análisis: uno relacionado con los instrumentos de planeación y el otro con el análisis realizado a las instituciones gubernamentales. Por lo tanto, esta sección es mostrada con el orden de cada pregunta y así concluir con el resultado del grado de integración intersectorial.

¿Qué se integra y comparte?

Esta pregunta se respondió con el análisis realizado en los instrumentos de

planeación de cada sector bajo análisis. A continuación, se enlistan por cada nivel territorial, factores u objetos de estudio en los cuales *todos los sectores* se integran o comparten para identificar problemáticas o formular estrategias.

Nivel estatal (Nayarit).

Con relación en las problemáticas:

- Abastecimiento de agua y saneamiento: Acceso inadecuado y ausencia de los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento.
- Agua residual o saneamiento: Falta de cobertura del servicio.
- Agua pluvial: Áreas propensas a inundaciones (principalmente aguas abajo).
- Disponibilidad de servicios, materiales, facilidades e infraestructura: Insuficientes servicios públicos y básicos de buena calidad.
- No está incluido en los factores, pero sí mencionado en los instrumentos de planeación: déficit, carencia, inexistencia o insuficiencia de la infraestructura de desalojo de agua pluvial.

Con relación en las estrategias:

- Disponibilidad: Abastecimiento continuo y suficiente para uso personal y doméstico.
- Transparencia: Solicitar, recibir y difundir información sobre las cuestiones del agua.
- Participación: La gestión del agua debe basarse en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles.
- Vinculación con otros sectores o actores: Implementar varios instrumentos y enfoques participativos para ayudar a las partes interesadas a desarrollar un diagnóstico en mutuo acuerdo con relación a retos en el área urbana.
- Ciudad, desarrollo urbano o planeación urbana: Participación de múlti-

ples partes interesadas (sectores a cargo como por ejemplo la planeación urbana) en la gestión del agua pluvial, debido a que se garantizan las acciones, opiniones y necesidades que llevan a la solución y el diseño para contrarrestar impactos directos e indirectos.

- Salud ecológica: Proteger áreas existentes de alto valor ecológico.
- Naturaleza: Proteger los procesos ecológicos y naturales.
- Participación: Ciudad o asentamiento humano participativo. Que incorpore definición, ejecución, seguimiento y formulación de presupuestos de las políticas urbanas y la ordenación del territorio.
- Vinculación: Ciudad o asentamiento humano sostenible.

Nivel metropolitano (Zona Metropolitana Tepic-Xalisco).

A este nivel, no se realizó un diagnóstico de qué se integra o se comparte, porque únicamente se dispone de un documento por parte de uno de los sectores bajo análisis (sector de ordenamiento territorial o desarrollo urbano; Plan de Ordenamiento Territorial de la Zona Metropolitana Tepic-Xalisco de 2018) y no es posible adquirir un diagnóstico cuando menos con otro o todos los sectores bajo estudio.

Nivel municipal (Santa María del Oro):

En el municipio de Santa María del Oro no se localizaron instrumentos de planeación en específico de los sectores de vivienda y recurso hídrico; del sector del medio ambiente (en este caso desde el ordenamiento ecológico) se cuenta con el Programa de Ordenamiento Ecológico de la Cuenca de la Laguna de Santa María del Oro de Nayarit de 2003 y con relación a desarrollo urbano el Plan de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Santa María del Oro de Nayarit de 2005. Por lo tanto, en este municipio se estudió únicamente desde el sector de desarrollo urbano y del medio ambiente.

A continuación, se expone solamente los objetos de estudios en los cuales ambos sectores abordan en sus instrumentos de planeación sobre el tema,

debido a que, a esta escala de intervención, la información mostrada no está actualizada con los factores analizados o solamente permite incluirla de lo particular a lo general.

Con relación en las problemáticas: Servicios de abastecimiento de agua y saneamiento; Abastecimiento de agua; Agua residual o saneamiento; Desvinculación entre el abastecimiento del agua, agua pluvial y agua residual o saneamiento; Desvinculación entre actores o sectores; Respecto al entorno urbano o rural; Presión sobre el recurso hídrico; Problemática ambiental; Enfoque tradicional o convencional; Asequibilidad y accesibilidad; Seguridad jurídica de la tenencia; Disponibilidad de servicios, materiales, facilidades e infraestructura; y Habitabilidad.

Algunos factores mencionados con relación a las problemáticas son: afectación en la disponibilidad de agua; contaminación de suelos y agua; deficiente y obsoleta infraestructura, viviendas sin drenaje y alcantarillado; no se cuenta con drenaje pluvial; desarrollo urbano desorganizado a orillas de la Laguna o laderas de la Cuenca ha ocasionado impactos ambientales; extracción de agua irregular; carencia de equipamiento y servicios; entre otros. (Gobierno del Estado de Nayarit, 2003, 2005)

Con relación en las estrategias: Disponibilidad; Calidad; Accesibilidad; Participación; Gestión de agua potable; Gestión de agua residual; Vinculación con otros actores o sectores; Ciudad, desarrollo urbano o planeación urbana; Gobernanza sensible al agua; Salud ecológica; Infraestructura adaptable; Naturaleza; Participación; Asequibilidad y accesibilidad; Seguridad jurídica de la tenencia; Disponibilidad de servicios, materiales, facilidades e infraestructura.

En el caso de los factores obtenidos en la formulación de estrategias, se exponen los siguientes: construcción de redes de agua potable; construcción de fosas sépticas; prohibición de descargas de aguas negras a cuerpos de agua; promoción de la participación; protección al medio ambiente; políticas de mejoramiento de infraestructura urbana; entre otros. (Gobierno del Estado de Nayarit, 2003, 2005)

¿Quiénes intervienen en la integración y dónde se produce la integración?

Para conocer quiénes intervienen en la integración, se hizo una clasificación considerando por cada institución gubernamental bajo análisis, lo siguiente: una participación entre instituciones o sus áreas administrativas; una participación entre niveles territoriales; y una participación entre sectores bajo análisis (desde campo de intervención). Además, a partir de lo anterior, se responde a ¿dónde se produce⁵ la integración? Por lo tanto, por cada nivel territorial, a continuación, se da respuesta a quiénes intervienen en la integración y se menciona el tipo de producción (ver anexo 2, tabla de tipos de intervención para el conocimiento de la integración sectorial).

A nivel estatal, la Secretaría de Desarrollo Sustentable y la Dirección de Planeación y Administración del Suelo y Técnica del Instituto Promotor de Vivienda de Nayarit son los únicos que permiten una participación entre todas las instituciones bajo análisis o sus áreas administrativas (producción horizontal). Con respecto en la participación entre niveles territoriales, todas las instituciones mostraron cuando menos una intervención con otro nivel (producción vertical). Y la participación entre sectores bajo análisis (desde campo de intervención), aunque sí hay instancias que permite una intervención entre todos los sectores tales como: la Subsecretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento en el campo del medio ambiente, la Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Nayarit y la Dirección de Planeación y Administración del Suelo y Técnica del Instituto Promotor de Vivienda de Nayarit; es el campo del medio ambiente, el que no permite la intervención de otros sectores.

En el caso metropolitano, los tres tipos de intervención sí se presentan, debido al uso general del lenguaje que implementa el Instituto Municipal de Planeación y este es el siguiente: diferentes niveles de gobierno (producción

⁵ La producción de la integración “implica adoptar una decisión sobre el modo de dirección de la intersectorialidad” [horizontal o vertical]. (Cunill-Grau, 2014, pág. 25)

vertical), otras instancias, de manera interinstitucional y todos los sectores (producción horizontal).

A nivel municipal, solo el municipio de Tepic, permite una intervención entre instituciones o áreas administrativas, esto debido al lenguaje general que utiliza como son: dependencias administrativas y dependencias del ayuntamiento (producción horizontal). En la participación entre niveles territoriales, todos los municipios lo llevan a cabo cuando menos con dos niveles; sin embargo, el sector de vivienda en los municipios de Xalisco y Santa María del Oro no permiten la intervención con otros niveles territoriales (producción vertical) y sectores.

¿Cómo se realiza la integración?

Desde qué se integra o se comparte a nivel estatal, metropolitano y municipal.

Se pudo identificar de acuerdo a los instrumentos de planeación a nivel estatal, que los sectores se integran o se comparten con *una intensidad baja* en la identificación del problema y estrategias, principalmente reflejada por cuatro situaciones:

A nivel estatal:

Aunque anteriormente solo se mencionaron aquellos factores en los cuales hay intervención entre todos los sectores, son más los factores implementados por uno o dos sectores y que los otros no abordan (tanto en problemáticas como estrategias); por ejemplo y en el caso del objeto de estudio relacionado con la identificación de la problemática: abastecimiento del agua, únicamente el sector del medio ambiente enfatiza problemáticas relacionadas con: presión hídrica en acuíferos por exceso de extracción, la procedencia del servicio (superficial y subterráneo), la falta de agua limpia a la población, la contaminación y aprovechamiento irregular del agua superficial y la contaminación procedente de pilas (esto ocurre en la mayoría de los objetos de estudio).

- En algunos objetos de estudio (tanto problemática y estrategias), no se identificó información de ninguno de los factores bajo análisis de los sectores en estudio, ejemplos en la identificación de problemáticas: proyecto, servicios públicos, etc.

A nivel metropolitano (Tepic y Jalisco) el resultado de qué se integra o se comparte desde la identificación de la problemática y estrategias entre los sectores bajo análisis es con: *una intensidad baja*, esto por la inexistencia de instrumentos de planeación por parte de los sectores del medio ambiente, de vivienda y del recurso hídrico. En el caso del municipio de Santa María del Oro también ocurre lo mismo que a nivel metropolitano, bajo la premisa que la integración se da con: *una intensidad baja*, por la falta de instrumentos de planeación por parte de los sectores de vivienda y del recurso hídrico; así como por la desigualdad u omisión de información en el abordaje en la identificación del problema y en la formulación de estrategias.

Desde quiénes intervienen en la integración: análisis institucional a nivel estatal, metropolitano y municipal.

A nivel estatal y municipal se identificó, de acuerdo a sus instituciones gubernamentales y desde quiénes intervienen, *una intensidad baja*, debido a que por lo menos un solo sector de los analizados no interviene con los demás bajo estudio, observándose principalmente en el sector del recurso hídrico. Únicamente en el caso metropolitano se concluye una intervención con una *intensidad alta*, por el manejo generalizado de sus términos (dependencias competentes, dependencias del ayuntamiento, otras instancias y otros sectores) el cual, al abordarse de manera muy general permite incluir a todos los sectores bajo análisis.

Desde dónde se produce la integración.

En cuanto a la producción de la integración a nivel estatal y municipal se con-

cluye que se lleva a cabo con: *una intensidad baja en su producción horizontal*, debido a que entre los sectores bajo análisis aún se carece de un involucramiento entre ellos, como se mencionó en el caso (estatal, por ejemplo) del sector del medio ambiente con el de vivienda o el caso presentado entre instituciones gubernamentales, donde no se toma en cuenta a otra institución, ejemplo de ello, la Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Nayarit. En la producción vertical a nivel estatal y metropolitano su *intensidad es alta*, ya que por lo menos se presenta una intervención entre dos o más niveles.

Resultado de la integración intersectorial

De acuerdo con las respuestas obtenidas en cada una de las cuestiones mencionadas anteriormente, se concluye que entre los sectores bajo análisis el *grado de integración intersectorial es baja*, por los siguientes motivos:

- Inexistencia o desactualización (en su caso) de instrumentos de planeación a escala metropolitana y municipal.
- A nivel estatal y municipal existe cuando menos un sector con mayor o incluso nula información relacionada con los objetos de estudio propuestos, tanto en la identificación del problema como en la formulación de estrategias.
- En el nivel estatal y municipal los sectores bajo análisis sí abordan temas similares o en común, pero estos representan una minoría, lo que lleva a un desfase en su identificación del problema y formulación de estrategias.
- La intervención entre los sectores bajo análisis no es presentada por lo menos por alguno de ellos, fracturando así su grado de involucramiento.
- En los tres niveles territoriales bajo análisis (aunque existan casos contrarios) su producción se lleva a cabo más vertical que horizontal y cuando se da en modo horizontal, esta no involucra a todos los sectores.

Lo anterior, conlleva a una identificación de problemáticas y a una formulación de estrategias entre sectores (en algunos casos) siguen siendo asumidas sectorialmente.

Conclusiones

El resultado de *baja integración intersectorial* en los sectores analizados, en niveles territoriales y en instituciones gubernamentales no representa un grado que implique iniciar desde cero; si no, un seguimiento para ampliar el conocimiento de cómo está la integración de los sectores (ordenamiento territorial o desarrollo urbano, vivienda, medio ambiente y recurso hídrico) y cómo mejorarla. Y aunque a nivel estatal se obtuvo con mayor detalle el conocimiento, por factores, otras escalas territoriales podrían aplicarlos, incluyendo una intervención que considere al río Mololoa.

Por lo tanto y por mencionar algunos ejemplos, al identificar problemáticas se puede considerar en la planificación de políticas los siguientes factores: identificación de necesidades principales de los afectados; el uso del enfoque tradicional para la solución de problemas actuales o futuros con relación al recurso hídrico es inadecuado; el uso de ríos y lagos como transportadores y diluyentes de aguas residuales destruyen la vida acuática en ellos; recursos hídricos amenazados por la urbanización, el cual, provoca cambios en su cantidad y calidad; y planes urbanos no manejan satisfactoriamente los componentes del ciclo urbano del agua.

Los factores mencionados podrían ampliar el conocimiento en la integración intersectorial de los sectores bajo análisis si todos los involucrados lo trabajan y con ello, formular estrategias urbano-ambientales sensibles al agua, enfocadas en lo siguiente: visión integral en políticas de ordenamiento territorial y planificación del territorio al llevar a cabo gestión sostenible e integral del agua; implementación de una herramienta evaluativa comparativa o heurística para el desarrollo de políticas a largo plazo y permitan la transición hacia la sustentabilidad del agua urbana; disponer de datos a largo plazo para tener una

viabilidad y mantenimiento de un diseño urbano sensible al agua; y realizar acuerdos flexibles e inclusivos entre todos los sectores con relación al proceso de ordenamiento de cuencas hidrográficas.

Anexo

Anexo 1. Citas de referencia para la selección de objetos de estudio y factores.

Derecho humano al agua	Tello, 2008; Mora y Dubois, 2015; Domínguez y Flores, 2013.
Ordenamiento Territorial y Recurso Hídrico	Medellín y Algecira, 2018; Solanes y Getches, 1998; Pérez y Le Blas, 2004; Arias, 2008; Molina, 2008; Chamochumbi, 2010; Duek, y Comellas, 2011; González, 2011; Pérez y Le Blas, 2004; Osorio, 2017; Global Water Partnership Centroamérica, 2013.
Gestión Integral del Agua Urbana	ICLEI European Secretariat GmbH, Freiburg, Germany, 2011, 2011a, 2011b, 2011c, 2011d, 2011e; GWP, 2011; Michaud, 2014; Dourojeanni, 1994; Brown y Farrelly, 2009; Banco mundial, 2012.
Ciudad Sensible al Agua	: Brown, Keath, y Wong, 2008; Brown, Roger, y Werbeloff, 2016; Wong y Brown, 2009; Brown y Farrelly, 2009; Cutter, 2011; Dolman, 2011; Bichai y Cabrera, 2017; Renou, Sochacka, Kenway, Leung, Serrao-Neumann, Morgan y Low, 2017; Torres y Molina, 2019; CRC for Water Sensitive Cities, 2019.
Diseño Urbano Sensible al Agua	Goonetilleke, Ashantha, Egodawatta, Prasanna y Liu, 2011; Wong, 2006; Australian Government, 2006; Gardiner y Hardy, 2005; Lee y Yigitcanlar, 2010; Nunes, Deletic, Wong, Prodanoff, y Freitas, 2011; An, Yuntao, Prasanna, y Ashantha, 2013; Molina, 2016; Brisbane City Council and the Moreton Bay Waterways and Catchments Partnership, 2016; Wong, 2007; Salinas Rodríguez, y otros, 2014.
Derecho a la Ciudad	ONU-Hábitat México, 2020; Borja, 2011; Correa, 2011; Tobar, 2020.
Derecho a una Vivienda Adecuada	Organización de las Naciones Unidas, 1991; Moreno, 2008; Dede, 2007; Murcia, 2012.
Derecho Humano al Agua	Tello, 2008; Mora y Dubois, 2015; Domínguez y Flores, 2013.

Elaboración propia.

Anexo 2. Tipos de intervención para el conocimiento de la integración sectorial

Nivel territorial	Instancia gubernamental	Tipos de intervención										
		Participación entre instituciones o sus áreas		Participación entre niveles territoriales					Participación entre sectores bajo análisis (desde campo de intervención)			
		Instituciones	Áreas administrativas	Federal	Estatal	Metropolitano	Municipal	No mencionadas	Ordenamiento territorial	Vivienda	Medio ambiente	Recurso hídrico
Secretaría de Desarrollo Sustentable:												
Estatal	Ordenamiento territorial	Todas	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	*	No	No	No
	Medio ambiente	Todas	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	*	No
	Subsecretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento:											
	Ordenamiento territorial	Vivienda	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	*	Sí	Sí	Sí
	Medio ambiente	Comisión del Agua	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	*	Sí
	Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Nayarit	No	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	**	Sí	*
	Consejo de Cuenca del Río Santiago	No	No	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	*

Nivel territorial	Instancia gubernamental	Tipos de intervención										
		Participación entre instituciones o sus áreas		Participación entre niveles territoriales					Participación entre sectores bajo análisis (desde campo de intervención)			
		Instituciones	Áreas administrativas	Federal	Estatal	Metropolitano	Municipal	No mencionadas	Ordenamiento territorial	Vivienda	Medio ambiente	Recurso hídrico
Estatal	Instituto Promotor de Vivienda de Nayarit:	No	No	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	*	No	**
	Dirección de Planeación y Administración del Suelo, y Técnica	Todas	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Metropolitano	Instituto Municipal de Planeación	Todas	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Municipal	Ayuntamientos de Tepic											
	Ordenamiento territorial	Todas	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	*	Sí	Sí	Sí
	Vivienda	Todas	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	*	No	No
	Medio ambiente	Todas	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	*	Sí
	Sistema Integral de Agua Potable y Alcantarillado Tepic	Todas	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	*

Nivel territorial	Instancia gubernamental	Tipos de intervención										
		Participación entre instituciones o sus áreas		Participación entre niveles territoriales					Participación entre sectores bajo análisis (desde campo de intervención)			
		Instituciones	Áreas administrativas	Federal	Estatal	Metropolitano	Municipal	No mencionadas	Ordenamiento territorial	Vivienda	Medio ambiente	Recurso hídrico
Ayuntamiento de Xalisco:												
Municipal	Ordenamiento territorial	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	*	Sí	Sí	No
	Vivienda	No	No	No	No	No	No	No	No	*	No	No
	Medio ambiente	Todas	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	*	Sí
	Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Xalisco	Todas	Sí	No	No	No	Sí	Sí	No	No	No	*
	Ayuntamiento de Santa María del Oro:											
	Ordenamiento territorial	OOMA-PA-SS-MO	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	*	Sí	Sí	Sí
	Vivienda	No	No	No	No	No	No	No	No	*	No	No
	Medio ambiente	OOMA-PA-SS-MO	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	*	**

Nivel territorial	Instancia gubernamental	Tipos de intervención										
		Participación entre instituciones o sus áreas		Participación entre niveles territoriales					Participación entre sectores bajo análisis (desde campo de intervención)			
		Instituciones	Áreas administrativas	Federal	Estatal	Metropolitano	Municipal	No mencionadas	Ordenamiento territorial	Vivienda	Medio ambiente	Recurso hídrico
Municipal	Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Santa María del Oro (OOMAPASS-MO)	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	No	*
	Comité Técnico de Santa María del Oro	No	No	No	No	No	No	Sí	No	No	Sí	*

Fuente: Elaboración propia, a partir de COCURS, 2014; Reglamento Interior de la Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Nayarit, 2020; Gobierno del Estado de Nayarit, 2017; Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Nayarit, 2019; H. XL Ayuntamiento del Municipio de Tepic, 2015; Gobierno del Estado de Nayarit., 2010; Gobierno municipal de Tepic, 2020a, 2020b; Reglamento de la Administración Pública para el Municipio de Santa María del Oro, Nayarit, 2016; Reglamento de la administración pública para el municipio de Xalisco, Nayarit, 2019; Reglamento Interno del Sistema Integral de Agua Potable y Alcantarillado de Tepic, 2016)

*NA No aplica; ** Posiblemente.

Referencias

- COCURS. (2014). *Consejo De Cuenca del Río Santiago*. <https://www.cocurs.mx>
- CUNILL-GRAU, N. (2014). *La intersectorialidad en las nuevas políticas sociales. Un acercamiento analítico-conceptual*. XXIII (1), 5-46.
- REGLAMENTO INTERIOR DE LA COMISIÓN ESTATAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTILLADO DEL ESTADO DE NAYARIT, N.O 096 (2020).
- GOBIERNO DEL ESTADO DE NAYARIT. (2003). *Programa de Ordenamiento Ecológico de la Cuenca de Santa María del Oro*.
- GOBIERNO DEL ESTADO DE NAYARIT. (2005). *Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Santa María del Oro*.
- GOBIERNO DEL ESTADO DE NAYARIT. (2010). *Manual de organización del organismo operador de agua potable, alcantarillado y saneamiento de Xalisco, Nayarit*. http://transparencia.xalisco.gob.mx/files/art33/01/marzo/MANUAL_DE_ORGANIZACION_DEL_OROMAPAS_XALISCO.pdf
- GOBIERNO DEL ESTADO DE NAYARIT. (2017). *Manual General de Organización del Instituto Promotor de la Vivienda de Nayarit* (Vol. 052).
- GOBIERNO MUNICIPAL DE TEPIC. (2020a). *Reglamento Interior de la Dirección General de Desarrollo Urbano y Ecología de Tepic*. <http://docs.tepic.gob.mx/ayto/2020/20200220/12-3-6--coordinacion-de-impacto-ambiental-y-dictaminacion.pdf>
- GOBIERNO MUNICIPAL DE TEPIC. (2020b). *Reglamento Interior del Instituto Municipal de Vivienda de Tepic. Nayarit, México*. <http://docs.tepic.gob.mx/ayto/2020/20200220/13-8-4--jefatura-de-oficina-social.pdf>
- H. XL AYUNTAMIENTO DEL MUNICIPIO DE TEPIC. (2015). *Reglamento Interior del Instituto Municipal de Planeación*. http://tepic.gob.mx/archivos/gacetas/Gaceta_Extraordinaria5_Carta.pdf
- MENDOZA-GONZÁLEZ, E. B. (2020). *Ánalisis de integración intersectorial de la planeación urbana con el recurso hídrico en el área metropolitana de Guadalajara, desde los enfoques de Gestión Integral del Agua Urbana y la Ciudad Sensible al Agua* [Maestría]. Universidad de Guadalajara.

REGLAMENTO DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA PARA EL MUNICIPIO DE SANTA
MARÍA DEL ORO, N.O 086 (2016).

REGLAMENTO DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA PARA EL MUNICIPIO DE XALISCO,
NAYARIT, N.O 121 (2019).

REGLAMENTO INTERNO DEL SISTEMA INTEGRAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTA-
RILLADO DE TEPIC, N.O 117 (2016).

SECRETARÍA DE DESARROLLO SUSTENTABLE DEL ESTADO DE NAYARIT. (2019).

*Reglamento Interior de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de
Nayarit.*

Análisis de la vivienda en el antiguo cauce del Río Mololoa desde la perspectiva de «Vivienda Adecuada»

Alejandra Villagrana Gutiérrez¹ y José Andrés Gutiérrez Villanueva²

Palabras clave: vivienda adecuada, servicios básicos, agua potable, drenaje.

Introducción

El presente artículo hace un abordaje del concepto de vivienda adecuada y señala cuáles son las líneas de acción establecidas para que todas las personas que habitan en un territorio puedan vivir en condiciones adecuadas, acentuando en la disponibilidad de servicios que son considerados como básicos en las viviendas, en especial los relacionados a los recursos hídricos.

Brindar a la población mexicana una vivienda de calidad es complejo y significa un reto para la administración pública. Esta, a sus diferentes escalas, ha intervenido creando múltiples instrumentos normativos y de planeación

¹ Profesora investigadora del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño (CUAAD). Correo electrónico: alejandra.villagrana@academicos.udg.mx

² Maestro en Urbanismo y Territorio (MAUT) del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño (CUAAD). Correo electrónico: jose.gutierrez0906@alumnos.udg.mx

urbana como leyes, programas y planes aplicables al territorio, de manera que se analizará la coordinación de estos mismos en las distintas escalas: internacional, nacional, estatal y local.

Para finalizar se propone el desarrollo de un diagnóstico en el municipio de Tepic, Nayarit referente a la vivienda adecuada respecto a algunos indicadores del componente 2. Disponibilidad de servicios, materiales, instalaciones e infraestructura, los cuáles exponen la disponibilidad de agua potable y drenaje a nivel municipal y hacen evidencia de las zonas que presentan problemática con respecto a estos servicios, para definir finalmente un caso de estudio, el cual sería interesante abordar a manera de proyecto para el desarrollo de futuras estrategias y acciones.

Análisis del concepto de vivienda adecuada desde la Escala Internacional

La Declaración Universal de los Derechos Humanos (2015) establece, en el artículo 25, que todo ser humano tiene derecho a una Vivienda Adecuada que asegure el bienestar de los individuos, en temas de salud, alimentación y acceso a los servicios sociales necesarios para el buen desempeño de la vida diaria.

El acceso a la Vivienda Adecuada debe entenderse como un derecho que tienen los seres humanos para vivir en tranquilidad y seguridad. Es por ello por lo que el Estado, a sus diferentes escalas, ha adquirido la responsabilidad de asegurar que, quienes habitan en su territorio puedan acceder a ese estado de bienestar que proporciona la *vivienda adecuada*.

Mejía (2016) menciona que la Vivienda Adecuada se conceptualiza en 3 vertientes: derecho a la vivienda; política habitacional; y espacios adecuados para sujetos con condiciones particulares físicas.

En ese sentido, la vivienda se conceptualiza más allá de aquella estructura física territorial que protege al habitante; se busca que sea un espacio donde las personas se desarrollen a la par de un correcto suministro de servicios considerados como básicos por los derechos humanos, entre ellos el agua, que permitirán el bienestar y seguridad de quienes lo habitan. Contar con agua

potable influye en muchos factores de salud del ser humano, ayuda a estar sano; es muy importante contar con agua limpia y acceder a sistemas de drenaje adecuados para combatir la contaminación. Toda vivienda, considerada como adecuada, debe contar con abastecimiento del recurso hídrico.

Por ende, las vertientes antes mencionadas deben verse como un proceso integral; donde el Estado, las instituciones y organizaciones, a través de sus diferentes políticas y recomendaciones, planteen, el habitar dignamente como un derecho y realicen acciones, tanto de planeación como de intervención, para lograr lo anteriormente citado en relación con la vivienda adecuada.

ONU-Hábitat (2022) plantea 7 elementos de la vivienda adecuada, que van más allá de disponer un espacio físico. Estos elementos satisfacen a un conjunto de condiciones particulares para que dicho lugar sea habitable. Estos son:

1. Seguridad de la tenencia

Es aquella certeza que brinda seguridad a quienes ocupan un territorio, ante desalojos forzados o pérdidas en materia legal. El Estado debe proteger y hacer efectivo el derecho a la vivienda adecuada a través de la legislación del territorio. Se deberá tener acceso permanente a los recursos naturales básicos para sustentar una buena calidad de vida, siendo estos el agua potable, la energía eléctrica para la calefacción y alumbrado y acceso a instalaciones hidrosanitarias para la descarga de los desechos humanos.

2. Disponibilidad de servicios

Los gobiernos tienen la obligación de operar para brindar a los grupos vulnerables, en situación de desventaja social, dichos recursos. Las políticas públicas de los gobiernos deberán ser compatibles con lo antes mencionado con la búsqueda de satisfacer los derechos humanos (Espejo, 2010).

3. Asequibilidad

La asequibilidad, en temas de vivienda, es aquella propiedad que pueda al-

canzarse, a través de la compra o renta. ONU-Hábitat (2022) considera que una vivienda es asequible si una familia distribuye menos del 30% de sus ingresos en gastos relacionados a la vivienda.

4. Habitabilidad

Davin (2022) menciona que la habitabilidad de una vivienda es lo que determina la calidad de vida de quienes habitan en ella. Son aquellas condiciones que garantizan el bienestar de sus habitantes, promoviendo un espacio de equidad y protección física que brinda salud a sus ocupantes, así como un ambiente de protección ante el riesgo.

5. Accesibilidad

La vivienda tiene que reunir una serie de características adecuadas para que esta sea considerada accesible. Con el paso de los años, la motilidad de las personas se ve reducida, orillando a necesitar equipo de apoyo como sillas de ruedas o bastones. El diseño de la vivienda debe considerar las necesidades de todos los grupos, en especial la de los más vulnerables y desfavorecidos, incluyendo a las personas con discapacidad.

6. Ubicación

La localización de las viviendas debe garantizar a las personas desempeñarse adecuadamente, tener acceso a servicios de primera necesidad, escuelas, hospitales y empleo. Que existan vías de comunicación para que las personas puedan desplazarse. La vivienda adecuada debe estar alejada de zonas de riesgo que comprometan la integridad de los habitantes.

7. Adecuación Cultural

La identidad por la vivienda permite encontrar significado a diversas conductas de los seres humanos al apego al espacio. La vivienda es lugar donde suceden diversas expresiones, tanto culturales como tradiciones, modos de vida. Es

por ello que la vivienda no debe ser una oposición a estos sucesos de la vida cotidiana que generan identidad y sentimiento de pertenencia.

Con relación a los conceptos vistos anteriormente se puede deducir que las ciudades encargadas de recibir a los nuevos habitantes no tienen una correcta planeación de los nuevos asentamientos, desencadenando una serie de problemas en el abastecimiento de bienes y servicios básicos. Las personas con menos recursos son quienes habitan áreas en condiciones informales, excluidos y sin acceso a servicios públicos básicos que garanticen una buena calidad de vida (Osorio Álvarez, 2017).

Continuando con el contexto internacional, para mejorar la calidad de vida de las personas, surgen en el 2015 los Objetivos del Desarrollo Sostenible. Son 17 objetivos divididos en diferentes rubros, de los cuales se abordará en este apartado, su incidencia con el concepto de *vivienda adecuada*, específicamente con el elemento 2: Disponibilidad de servicios, materiales, instalaciones e infraestructura planteado por ONU Hábitat, enfatizando en los servicios relacionados a los recursos hídricos.

Una vivienda con servicios de agua potable y drenaje favorece en el cumplimiento de las metas plasmadas en el objetivo 3: Salud y bienestar. Las personas que cuentan con el recurso hídrico contribuyen a reducir la tasa de mortalidad expresadas en la meta 3.3³, de este objetivo, relacionados a las bacterias presentes en el agua y mismas que se propagan por falta de higiene. La adecuada planeación permite suministrar a las viviendas de este vital líquido, alejándolo de afectaciones que pudieran suscitarse por la contaminación y la introducción de químicos peligrosos, ayudando a satisfacer también la meta 3.9⁴.

Para satisfacer la meta 6.1⁵ del ODS 6: Agua limpia y saneamiento, las viviendas deben contar con infraestructura adecuada capaz de proveer de agua

³ Meta 3.3: Para 2030, poner fin a las epidemias del SIDA, la tuberculosis, la malaria y las enfermedades tropicales desatendidas y combatir la hepatitis, las enfermedades transmitidas por el agua y otras enfermedades transmisibles.

⁴ Meta 3.9: Para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo.

⁵ Meta 6.1: De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.

pura. El acceso a los recursos hídricos debe ser universal, con un precio de suministro asequible para todos los ciudadanos. Al gestionar el uso eficiente del agua también se incide en la meta 6.4⁶ relacionada a la sostenibilidad del agua.

Actualmente, hay una gran parte de la población que no tiene acceso al agua potable en su vivienda. Las cifras arrojadas por los Objetivos del Desarrollo Sostenible (2022) indican que 3 de cada 10 personas en el mundo carecen de acceso a agua potable y 6 de cada 10 no cuentan con instalaciones de saneamiento adecuado para el manejo de este recurso. Esta problemática podría relacionarse con la falta de planeación vinculada a la infraestructura hídrica que se tiene en las ciudades y se vincula particularmente con el ODS9.

El ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura indica que la infraestructura esencial para las viviendas, cómo lo es el saneamiento y el abastecimiento de agua, sigue siendo escasa y deficiente en algunas regiones. Por ello, ONU Hábitat ha planteado como meta 9.1⁷, el desarrollar infraestructura de buena calidad, resiliente y sustentable, para ayudar a alcanzar la calidad de vida con acentuación en el acceso equitativo de recursos, cómo lo es el agua.

La política relacionada a la vivienda está desligada a la política de ordenamiento territorial y crecimiento de ciudades, en este sentido, la vivienda sustentable da paso a satisfacer la demanda de los servicios básicos para que una persona pueda desarrollarse de manera integral en las ciudades. El ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles, tiene como meta, incrementar el desarrollo urbano de manera inclusiva y accesible (considerando los recursos hídricos), con una correcta gestión de la planeación que integre a todos los asentamientos humanos en el territorio.

⁶ Meta 6.4: De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.

⁷ Meta 9.1: Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo especial hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos.

Con ese preámbulo, se plantea analizar cuáles son los elementos de la vivienda adecuada, que influyen en la adecuación del territorio, en materia del manejo de agua y su incidencia en la política de vivienda de México.

Análisis del concepto de vivienda adecuada en el contexto mexicano.

Ahora, en la escala federal (caso México) se presenta una revisión de los principales documentos legales y de planeación urbana misma que servirá para especificar si mencionan o vinculan dentro de su estructura el concepto de vivienda adecuada.

La Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (2021), dentro de su estructura, expone un artículo que habla sobre la vivienda adecuada. El Artículo 52 señala que la legislación estatal en materia de asentamientos humanos deberá señalar los alcances de las acciones de los centros de población para su conservación, mejoramiento y crecimiento, estableciendo medidas para la construcción de vivienda adecuada, infraestructura y equipamiento.

Dicho Artículo da pauta para la asignación de responsabilidad que tiene la legislación a su nivel estatal, para la formulación de planes y programas de desarrollo urbano y la ejecución de convenios de coordinación con dependencias y entidades para tratar temas de la agenda pública. Además, en el Artículo 53 menciona, la función que tiene el gobierno estatal para satisfacer de servicios y equipamiento, en su territorio.

Por otra parte, la Ley de Vivienda (2019) en su Artículo 1 menciona el objetivo de dicha ley, el cual consiste en establecer y regular la política nacional para que los habitantes de un territorio puedan tener acceso a una vivienda digna y adecuada. En el Artículo 6 de esta ley se mencionan los fines de este documento, para ello se debe considerar instaurar mecanismos para la construcción de viviendas que se integren con el medio ambiente y que hagan un uso eficiente de los recursos naturales.

Así mismo, en su Artículo 17, busca promover que los gobiernos estatales desempeñen algunas competencias y ayudar a los gobiernos municipales en la gestión de recursos y ejecución de programas relacionados a la vivienda. Además de incentivar la sinergia entre actores sociales y privados en conformidad a la Ley y a los programas.

En las leyes antes mencionadas el concepto de *Vivienda Adecuada* no hace mucha presencia, en cambio, incorpora el concepto de *Vivienda Digna* para referirse al modelo de vivienda capaz de satisfacer las necesidades del ser humano. Sin embargo, la vivienda adecuada se sustenta en los derechos humanos como principio de acceso a una vivienda que permita al ser humano desarrollarse plenamente.

De dichas leyes se sustentan los programas e instrumentos vinculados a la planeación urbana y el ordenamiento territorial. Uno de ellos es el Programa Sectorial de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (PSDATU) (SEDATU, 2020) el cual se sustenta en 4 objetivos marcados como prioritarios; los son vinculables al concepto vivienda adecuada. Los objetivos se clasifican en: a) ordenamiento territorial, b) desarrollo agrario, c) desarrollo urbano y) vivienda. De los objetivos mencionados se concluye que el PSDATU busca la consolidación de un territorio sostenible que integre las necesidades de quienes lo habitan (sea en ciudades, pueblos o comunidades), para garantizar un hábitat asequible como parte de los derechos humanos que poseen los individuos, especialmente aquellos considerados como parte de los grupos vulnerables

La visión que toma el programa incorpora un porvenir sostenible, que implica generar cambios en la manera de actuar, para construir espacios que beneficien a todas las personas; todo desde una perspectiva humana, a partir de una reducción paulatina de las desigualdades espaciales.

El PSDATU coincide con ONU-Hábitat sobre la responsabilidad que tienen los tres órdenes de gobierno, por lo que pretende fortalecer la relación de las acciones y metas a sus diferentes escalas. Busca participar en los diferentes medios para brindar una buena gestión de los recursos naturales y servicios públicos.

En ese sentido, los principios de planeación sectorial expuestos en el documento y que se derogan del diseño y ejecución, en relación con la vivienda adecuada, recae en diversos aspectos. El programa hace una crítica a la planeación del territorio. Menciona que la demanda territorial y la necesidad de los habitantes por adquirir un espacio donde puedan desarrollarse rebasó a la planeación urbana enfocada a la vivienda, perdiendo la garantía de un hábitat sostenible e incluyente. Donde no todas las personas tienen la accesibilidad a una vivienda digna y son los grupos con menos recursos económicos quienes resultan vulnerables.

El desencadenamiento de los problemas también recae en la sociedad, al considerar la vivienda como un elemento aislado, transformándolo para su beneficio sin importar las responsabilidades que se ejercen en el territorio y sus repercusiones en el ambiente. Los propietarios de los nuevos territorios al desarrollar no contemplan el abastecimiento de servicios como una prioridad y un cómo un tema que debe incluirse en la planeación, se deslindan responsabilidades con la esperanza que el Estado se encargue de la gestión de los recursos mencionados. El dilema surge posterior a la toma de decisión, cuando desde la individualidad no se logra garantizar, por cuestiones técnicas o económicas, el acceso a los servicios que garanticen el cumplimiento de las condiciones básicas para la vivienda adecuada.

El objetivo prioritario 4 del PSDATU, busca garantizar el derecho humano de todas las personas, a una vivienda adecuada, mismo que se ha visto afectado por los diversos procesos de crecimiento urbano y por la pérdida de la calidad de vida de los habitantes. El plan apuesta a un adecuado ordenamiento territorial que permita acceder a una vivienda adecuada y a su vez, un fortalecimiento de las capacidades municipales y estatales del gobierno. Lo expuesto en el plan y las acciones de agentes externos no eximen al Estado de actuar por el bien de todos, en especial por los grupos históricamente desfavorecidos. Por ello plantea la creación de un marco institucional, que fomente la coordinación entre autoridades, para generación de entornos resilientes y sustentables.

La vivienda que se ha desarrollado en las últimas fechas ha tenido como enfoque la creación de espacios que tienen como objetivo estandarizar la vivienda en México sin considerar las necesidades de la población y sus acciones cambiantes. Una gran cantidad de problemas derivados de la necesidad de vivienda, se resuelven por medio de la autoproducción, sin considerar agentes gubernamentales, esto por la ausencia y/o déficit de programas e instrumentos en materia de vivienda. Si bien, el Programa Sectorial permite identificar las áreas de oportunidad para la mejora de la vivienda en México, es necesario profundizar, analizar el Programa de Vivienda en su escala nacional.

El Programa Nacional de Vivienda (PNV) (SEDATU, 2019) incluye un subapartado con el título *Disponibilidad de servicios, materiales, instalaciones e infraestructura*. Menciona que la problemática relacionada a la disponibilidad de servicios puede suscitarse por tres motivos:

- El primero: los gobiernos locales no tienen la capacidad de brindar infraestructura a los nuevos asentamientos que se presentan, principalmente a los que se desarrollan en la periferia o en zonas que no coinciden con la planeación urbana de este nivel de gobierno, en materia de servicios básicos, infraestructura y equipamiento. La capacidad antes mencionada se ve rebasada por el gran número de asentamientos irregulares que se han presentado últimamente.
- El segundo, por situaciones físicas-técnicas. Existen zonas en las que se dificulta abastecer de recursos o que por cuestiones físicas (problemas geotécnicos o topográficos) es imposible desarrollar infraestructura para dotar de un bien, ya que económicamente, no resulta benéfico una gran inversión para un asentamiento irregular con pocos habitantes.
- El tercero nace del segundo motivo: los altos costos para abastecer de un bien o servicio, en asentamientos irregulares.

El PNV (2019) menciona que existen organismos a nivel federal que tienen como competencia el desarrollo de vivienda, así como organismos estatales y municipales en esta materia. A pesar de eso, no existe una delimitación de las áreas de actuación de los organismos y dependencias a sus diferentes escalas, así como un programa que coordine la comunicación efectiva y trabajos colaborativos entre todos los organismos y entidades.

Vinculado al tema de vivienda, el INEGI (2022), presenta una serie de indicadores, con la información obtenida en los Censos de Población y Vivienda del 2010 y 2020, que se relacionan con el elemento de la vivienda adecuada: *disponibilidad de servicios, materiales, instalaciones e infraestructura*. Estos indicadores permiten realizar un análisis para determinar la situación actual de la vivienda en México, particularmente su acceso a servicios básicos.

El primer indicador es el número de viviendas que carecen de acceso al agua entubada, donde se contabiliza la situación actual. Se considera situación de carencia si el acceso al agua en las viviendas se obtiene a través de un pozo, de un cuerpo de agua cercano (río, arroyo, lago), si se acarrea de otra vivienda o de una toma pública. En resumen, que no exista infraestructura de abastecimiento directo en la vivienda.

Un segundo indicador consiste en el número de viviendas que no cuentan con servicio de drenaje adecuado. Un drenaje inadecuado o en condición de carencia es aquel que conecta sus tuberías con un cuerpo de agua, barranco o hendidura, exponiendo a quienes habitan alrededor a una situación insalubre. Otro indicador que existe es el vinculado a la infraestructura para almacenar agua: disponibilidad de tinaco y disponibilidad de cisterna o aljibes.

Para delimitar una zona de estudio de menor escala y proveer de un diagnóstico de vivienda, el análisis se acentuará al caso particular del Estado de Nayarit, con la información obtenida de la convocatoria de Fondos Mixtos CONACYT – FOMIX CONACYT.

Revisión de la Escala Estatal: Estado de Nayarit.

La Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano para el Estado de Nayarit (2019), Artículo 3, menciona que la gestión y planeación de los asentamientos humanos y ordenamiento territorial deben apegarse a una serie de principios de las políticas públicas, en los que destacan *el derecho a la ciudad* y *equidad e inclusión*, principios vinculantes a la vivienda, con la perspectiva de que todos los ciudadanos tienen derecho a acceder a una vivienda que cumpla con los servicios, equipamiento e infraestructura básicos.

Las políticas de mejoramiento y desarrollo de los centros de población deberán apegarse a lo escrito en dicha ley, disponiendo de una serie de normas específicas, donde destaca la construcción de vivienda adecuada, infraestructura y equipamiento.

Por otra parte, la Ley de Vivienda para el Estado de Nayarit (2016), Artículo 7, solamente menciona que la Política Estatal de Vivienda debe mantener congruencia con la Ley de Asentamientos Humanos y Desarrollo Urbano para el Estado de Nayarit. Por lo que se deduce que es nulo el abordaje del concepto de vivienda adecuada en la escala estatal, en relación con estas dos leyes.

Ahora, dentro del Plan Estatal de Desarrollo de Nayarit 2021-2027 (PEDN) (Instituto de Planeación del Estado de Nayarit, 2021), centra su política de vivienda en las personas en situación de pobreza extrema, teniendo como uno de sus ejes el disminuir la pobreza y desigualdad. Una de las metas propuestas de aquí al 2027 está vinculada a la falta de acceso a los servicios básicos de la vivienda; buscando con ello propiciar una tendencia a la baja y relacionándola con el ODS1: Fin a la pobreza. De igual manera, uno de los indicadores expuestos en el Plan y de total concordancia con el concepto de vivienda adecuada es el indicador: carencia por acceso al drenaje, fijando como meta incrementar el número de viviendas que cuentan con este servicio y relacionando este indicador con el ODS 6: Agua limpia y saneamiento.

Un segundo indicador es la cantidad de viviendas particulares que cuentan con acceso a agua entubada dentro de la vivienda. El estado actual indica que en Nayarit el número de viviendas con acceso a agua potable va al alta (Instituto de Planeación del Estado de Nayarit, 2021). Como parte de las estrategias para el desarrollo de vivienda adecuada, el PEDN propone la elaboración de instrumentos de planeación territorial, inclusiva y sostenible, en aras de mejorar la vivienda y su entorno.

Aunque es el PEDN, no aborda como tal el concepto de vivienda adecuada, fija sus objetivos para el desarrollo sustentable de la entidad, dichos objetivos están relacionados con los ODS de ONU-Hábitat, razón por la cual el concepto de vivienda adecuada toma relevancia en el Plan.

Por otra parte, dentro del Programa Estatal de Vivienda, Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial (PEVDUOT) (2011) agrega en su estructura, algunos apartados relacionados con la vivienda adecuada. El PEVDUOT menciona que toda vivienda debe cubrir las necesidades básicas del ser humano para que se desarrolle una vida digna dentro de ella, también deberá reunir ciertos requisitos en los que destacan el servicio de agua entubada en el interior y el servicio de drenaje.

La información expuesta en el PEVDUOT indica que, hasta el 2010, el 93% de las viviendas disponen de agua entubada, destacando los municipios de Ahuacatlán y Tepic con un 99% de viviendas con disponibilidad de este recurso hídrico. Las zonas con menor porcentaje de acceso a agua entubada corresponden a las zonas rurales, donde el municipio Del Nayar solo alcanza un 49.2%.

Cotejando esta información con la expuesta en el Informe de Pobreza y Evaluación Nayarit 2020 (CONEVAL), los porcentajes a nivel estatal han tenido variaciones. En los años 2012 y 2018 se registraron los mayores porcentajes de población en viviendas sin acceso al agua, con un 9.5% y 9.4% respectivamente; ese porcentaje para el 2018 corresponde a un total de 122, 300 habitantes sin acceso a agua, a pesar de los múltiples esfuerzos ya mencionados.

Otro aspecto para atender es la calidad del agua. En el PEVDOUT se presenta un mapa como los niveles de cloro residual presente en el agua para uso y consumo humano, siendo crítica la situación del agua del municipio de San Blas. Otros municipios cercanos a Tepic como los es Santiago Ixquintla y Santa María del Oro, presentan también esta situación.

Otro servicio para analizar por ser considerado como básico es el servicio de drenaje. La situación del acceso a sistemas de drenaje ha mejorado en los últimos años. Los municipios de Xalisco y Tepic tienen un 99% de viviendas con sistema de drenaje, caso contrario a los municipios situados en zonas rurales, donde La Yesca tiene un 57.2% y Del Nayar un 21.4%. Cotejando nuevamente la información con la expuesta en el Informe de Evaluación y Pobreza del CONEVAL, la población en viviendas sin sistema de drenaje va disminuyendo. Al 2018 un total de 68,600 habitantes no cuentan con este servicio.

De lo anterior se puede deducir que en las zonas rurales es donde se presenta un mayor déficit en la cobertura de dichos servicios, caso contrario en zonas urbanas donde los porcentajes de habitantes sin acceso a viviendas adecuadas son menores; mismo que podemos comprobar en el Informe antes mencionado.

Este instrumento de planeación (PEVDOUT) cumple el propósito al establecer como uno de sus objetivos el acceso a la vivienda de calidad, a pesar de ello, no tuvo continuidad y actualmente no se encuentra vigente.

Como la zona de estudio, que se abordará más adelante, se sitúa en el municipio de Tepic. Resulta idóneo analizar los instrumentos de planeación presentados en esta escala para conocer su incidencia con la vivienda adecuada y la disponibilidad de servicios.

Revisión a escala local: el municipio de Tepic, Nayarit.

El Programa de Gobierno Municipal (2021) en su apartado de Vivienda y Asentamientos Humanos, corrobora la información expuesta en el PEVDOUT (Con datos obtenidos del INEGI), de la situación actual de la Capital Nayarita en temas de viviendas con acceso al agua, drenaje y equipamiento para almacenar

agua, argumentando que en comparación con el 2010, la calidad y cobertura de los servicios ha mejorado. Y aunque no aborda el concepto de vivienda adecuada como tal si expone una serie de datos vinculados a los servicios de agua potable y alcantarillado en las viviendas del municipio.

En su capítulo IV: «Diagnóstico Estratégico de Tepic - sobreexplotación de acuíferos», menciona que el municipio de Tepic está situado sobre el acuífero del Valle de Matatipac, teniendo grandes reservas de agua subterráneas. Al 2021 el volumen disponible es de 16.6 millones de m³ anuales, mismo que va abatiéndose con el crecimiento poblacional. Sin embargo, la razón por la que casi el 10% de las viviendas en Tepic carecen del servicio de abastecimiento público no se debe a temas de escasez, sino a una mala gestión en la distribución del servicio de agua entubada.

El diagnóstico en relación con agua potable indica que la dotación de agua en el municipio de Tepic es insuficiente y no cumple con la NOM-127-SSA1 1994⁸, además de no brindar con lineamientos de sustentabilidad. Una gran parte de la red de distribución de agua potable de la ciudad es obsoleta, con altos porcentajes de fuga y una ausencia de un mapeo donde se plasme la situación actual de las tuberías y conexiones.

En temas de alcantarillado sanitario, el municipio no da abasto a la creciente demanda. En algunos puntos de la ciudad la cantidad de aguas negras rebasa la capacidad ocasionando malos olores y enfermedades, además, en temporadas de lluvias, las aguas grises escurren en el deficiente sistema de alcantarillado. A pesar de este panorama, en los últimos 10 años, según el Censo de 2020 de INEGI, el número de viviendas sin sistema de drenaje ha disminuido en un 25%. Inclusive, una gran cantidad de viviendas descargan sus aguas residuales al Río Mololoa, agravando la calidad del agua.

Para el caso particular de Tepic, los ODS fungen como base para el planteamiento de las directrices en el contexto internacional del Programa de Gobier-

⁸ 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»

no, donde uno de los ocho principios de la agenda urbana en el territorio es el garantizar la disponibilidad de agua para todo, desde una gestión sostenible. El modelo de desarrollo busca consolidar los servicios públicos como elementos primordiales en la ciudad.

Tres de los programas de desarrollo, expuestos en el Programa de Gobierno, están enfocados a la vivienda y la calidad de los servicios. Estos programas definen estrategias y cronogramas de acciones para el cumplimiento de los objetivos del gobierno municipal. Estos programas se enlistan a continuación:

- **Programa 1** – Agua potable: busca mejorar las fuentes de abastecimiento y la distribución del recurso hídrico, teniendo como meta dotar de agua de calidad a la población, de acuerdo con la NOM antes mencionada y garantizar redes de agua potable en fraccionamientos.
- **Programa 2** – Alcantarillado Sanitario: a través de obras civiles busca mejorar la calidad y cobertura del sistema de alcantarillado, garantizando que las nuevas viviendas cumplan con la NOM.
- **Programa 12** – Mejora a la Vivienda: tiene como meta reactivar el programa de vivienda e impulsar apoyo a la vivienda en sectores de alta vulnerabilidad y rezago.

La instrumentación y líneas de acción de dichos programas se describen en el programa. Los responsables de dichos programas son el SIAPA (P1 y P2) y el Instituto Municipal de la Vivienda (P12).

El Plan de Ordenamiento Territorial de la Zona Metropolitana Tepic-Xalisco (POTZM) (Instituto Municipal de Planeación de Tepic, 2019), tiene como uno de sus objetivos el reconocer las necesidades urbanas e identificar las áreas para el abastecimiento de agua potable y el tratamiento de aguas residuales. En el diagnóstico de dicho plan se caracteriza el actual sistema de drenaje, reconociendo la importancia del Río Mololoa en los sistemas de saneamiento.

El término de vivienda adecuada no es mencionado, si no, se menciona a la vivienda digna y sustentable como referente, proponiendo atender el rezago habitacional través del otorgamiento de financiamientos para la promoción de la vivienda digna, con una mejor gestión del suelo que atienda las necesidades urbanas y mejore la calidad de vida las personas que lo habitan.

Por otra parte, el Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Tepic (PMDUT) (SEDESOL, 2010) está desactualizado desde hace más de 12 años. Desde el 2010 se preveía que la oferta de vivienda no era ideal para que una familia se desarrolle de manera integral. Menciona que para el ordenamiento del territorio y de los centros de población, deberá consolidarse el equipamiento, los servicios urbanos, la infraestructura y la vivienda.

Se trata de un plan desactualizado, donde la vivienda no tenía un abordaje con perspectiva de los derechos humanos. La vivienda era vista como un bien comercial y gran parte de las políticas y programas estaban enfocados en consolidar el mercado habitacional para hacer de la vivienda un impulsor del desarrollo. Esto estuvo acompañado de la promoción de un ordenamiento territorial vinculado a un marco regulatorio de la vivienda.

Ya para finalizar a manera de resumen, se presenta el marco referencial utilizado en esta investigación multiescalar (Figura 1). En donde pueden visualizarse los documentos consultados para la construcción de este marco referencial vinculado al concepto de vivienda adecuada. Ahora en el siguiente apartado se detalla la situación actual de los servicios de agua y drenaje dentro de la vivienda del municipio de Tepic, abordando un caso particular en donde la problemática es latente en relación con la disponibilidad de estos servicios.

MARCO REFERENCIAL



Figura 1. Marco Referencial

La vivienda en el Municipio de Tepic y sus servicios básicos de agua y drenaje: el caso del Antiguo Cauce del Río Mololoa.

Para la estructuración de este apartado se tomó parte de la información re-copilada dentro del desarrollo del diagnóstico urbano del proyecto del Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Nayarit que lleva por título *«Plan de manejo integral hidrológico y de saneamiento en la cuenca del Río Mololoa en Tepic, Nayarit: escenarios urbano-ambientales sensibles al agua»*. En el cual se trabajó de manera conjunta con la Universidad de Baja California (UABC), el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) del IPN Campus Durango y la Universidad Autónoma de Nayarit (UAN). En donde la Universidad de Guadalajara y particularmente el Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables (LNVCS) trabajó la parte urbana y territorial del proyecto.

El objetivo general de este trabajo integral se enfocó en desarrollar un plan de manejo integral hidrológico y de saneamiento que permitió definir e integrar las estrategias, acciones y proyectos requeridos para la prevención de inundaciones y disminución de los riesgos e impactos ambientales a las comunidades asentadas en la cuenca del río Mololoa. Buscando así establecer escenarios urbano-ambientales desde un enfoque sensible al agua que permitan su incorporación a la dinámica de desarrollo económico, social y ambiental del municipio de Tepic, Nayarit.

Dentro de los entregables de este proyecto integral se buscó desarrollar un diagnóstico de carácter urbano por municipio. En donde se analizó, a partir de los componentes del concepto de *Vivienda adecuada*, el estado actual de la vivienda del municipio de Tepic y particularmente de la vivienda ubicada en el «Antiguo cauce del río Mololoa».

Dentro de este diagnóstico particular y para desarrollo de este artículo se puntualizó en el componente número dos de la vivienda adecuada que analiza la «*disponibilidad de servicios, materiales, instalaciones e infraestructura*». Y específicamente, como un caso de estudio, se analizó la situación actual de los servicios de abastecimiento de agua potable y drenaje en la vivienda ubicada dentro del polígono delimitado como «Antiguo Cauce» del río Mololoa.

Como parte de la metodología de trabajo de este apartado, primeramente, se desarrolló una base de datos a nivel municipal. La cual se clasificó de acuerdo con los siete componentes que se mencionaron anteriormente e integran el concepto de vivienda adecuada: *seguridad de la tenencia, disponibilidad de servicios, materiales, instalaciones e infraestructura, habitabilidad, asequibilidad, accesibilidad, ubicación y adecuación cultural*.

La base de datos se conformó con información recopilada del municipio de Tepic por parte del equipo de trabajo del proyecto citado, la cual fue obtenida de distintas fuentes documentales de manera virtual como lo fueron: documentos institucionales y gubernamentales, planes y programas de desarrollo urbano, artículos científicos, entre otros. Este primer ejercicio se desarrolló

para identificar el estado actual de la información referente al concepto de vivienda adecuada en el municipio.

Ya con la información recopilada se procedió al desarrollo de reportes técnicos que expusieron la situación actual del municipio de Tepic con respecto a los indicadores de vivienda adecuada.

Como se mencionó anteriormente, de la base de datos generada, se tomó el apartado de información y reportes técnicos referentes a la *disponibilidad de servicios, materiales, instalaciones e infraestructura*. Con estos datos se tuvo un primer acercamiento para el desarrollo de un diagnóstico vinculado al estado actual de los servicios básicos de agua y drenaje en la vivienda, primeramente, dentro del municipio de Tepic y posteriormente en el polígono del «Antiguo Cauce»; para así confirmar la situación actual respecto a la problemática de acceso de estos servicios básicos.

Además, con la información recopilada fue posible desarrollar una serie de cartografías que permitieron apoyar este diagnóstico. A continuación, se describirán los datos recopilados y derivados de los reportes técnicos generados en este primer ejercicio.

Estado actual de los servicios básicos de agua y drenaje en la vivienda ubicada en el «Antiguo Cauce del Río Mololoa» en Tepic, Nayarit.

En términos de vivienda, se realizó primeramente un análisis municipal con base a la información disponible en los censos de población y vivienda de los últimos 4 períodos, (1990, 2000, 2010 y 2020) en relación con la vivienda particular habitada⁹, para así poder determinar su situación actual y comportamiento a lo largo de este periodo. El municipio de Tepic presenta la siguiente información de viviendas particulares habitadas tal como se muestra en la siguiente tabla.

⁹ Según el INEGI (2020) la Vivienda particular habitada es la vivienda particular que tiene residentes habituales que forman hogares. Incluye también cualquier recinto o local que estén habitados.

Tabla 1: «Viviendas particulares habitadas del municipio de Tepic». Elaboración propia con base en los Censos de Población y Vivienda 1990, 2000 y 2010 de INEGI.

Entidad federativa	Municipio	1990	2000	2010	2020
Nayarit	Tepic	49,730	73,205	102,735	125,938

Como puede observarse, la cantidad de viviendas particulares habitadas casi se ha triplicado en un periodo de 30 años desde el año 1990 al año 2020. Lo que supone una fuerte demanda de recursos en el territorio vinculada al abastecimiento de agua potable y descarga de aguas residuales.

Tal como se mencionó anteriormente, los servicios básicos en la vivienda son un indicador de suma importancia para determinar la calidad de vida. En este caso serán cuantificados y analizados los datos municipales en cuanto disponibilidad de agua potable y drenaje en las viviendas particulares habitadas, también en los últimos cuatro períodos censados.

Tepic es el municipio con mayor concentración de viviendas dentro de la cuenca del río Mololoa donde la relación de datos de disponibilidad de agua potable y drenaje en las mismas se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2: «Viviendas particulares habitadas que disponen de agua potable y drenaje del municipio de Tepic». Elaboración propia con base en los Censos de Población y Vivienda 1990, 2000, 2010 y 2020 del INEGI.

Censo	Total de Viviendas particulares habitadas	Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada	Porcentaje con respecto al total de viviendas particulares habitadas	Viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje	Porcentaje con respecto al total de viviendas particulares habitadas
1990	49,730	45,527	91.54%	40,028	80.49%
2000	73,205	69,041	94.31%	68,386	93.41%
2010	102,735	101,609	98.90%	100,208	97.54%
2020	125,938	124,594	98.93%	124,872	99.15%

Como puede observarse el porcentaje de viviendas particulares habitadas que

disponen de agua entubada ha aumentado a través de los primeros tres censos (1990, 2000 y 2010) y se mantuvo del censo de 2010 al censo de 2020. En el caso del porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje ha aumentado un 19% a lo largo de los cuatro censos (1990, 2000, 2010 y 2020).

Ante esto podría considerarse que la disponibilidad de los servicios básicos de agua y drenaje en las viviendas particulares habitadas en el municipio ha mejorado a lo largo de un periodo de 30 años.

Sin embargo, estos datos no dicen mucho acerca de la situación tanto de la periodicidad y calidad del abastecimiento de agua ni de las condiciones de la infraestructura de agua potable y drenaje. El hecho de contar con acceso al servicio de agua potable y alcantarillado no garantiza ni cantidad suficiente del recurso natural ni calidad en los servicios, y en la mayoría de los casos no se dispone de información adecuada y suficiente para la toma de decisiones y para la planeación de las infraestructuras.

Ante esto se plantea dentro de esta propuesta desarrollar un análisis en donde se puedan identificar las zonas con mayor vulnerabilidad de acceso a los servicios básicos de agua y drenaje, para que con ello se puedan desarrollar estrategias que permitan delimitar el estado actual de la infraestructura de agua potable y drenaje, así como diseñar estrategias de monitoreo de datos complementarios (como calidad del agua, fugas, flujos por mencionar algunos).

Posterior a este análisis general con relación al total de viviendas particulares habitadas y su cobertura de servicios de agua potable y drenaje dentro del municipio de Tepic, se procedió a desarrollar una serie de cartografías en donde se pudieron identificar las zonas con mayor vulnerabilidad en la disposición de los servicios de agua potable y alcantarillado. La cartografía desarrollada se obtuvo con la información recopilada a escala municipal y metropolitana, la cual se muestra a continuación.

Tal como se observa en la siguiente figura, dentro de la mancha urbana de la Zona Metropolitana de Tepic-Xalisco, se han resaltado en color azul los polígonos que presentan mayor porcentaje de viviendas particulares sin agua

entubada. Se puede evidenciar que dentro del área del «Antiguo Cauce» (círculo naranja) sobresalen dos polígonos: Polígono 1. que presenta un valor entre el 31 y el 50 por ciento de viviendas particulares sin agua entubada (en el polígono color azul claro) y Polígono 2. con un valor arriba del 51 por ciento de viviendas particulares sin agua entubada (polígono en color azul marino).

Porcentaje con de viviendas particulares habitadas

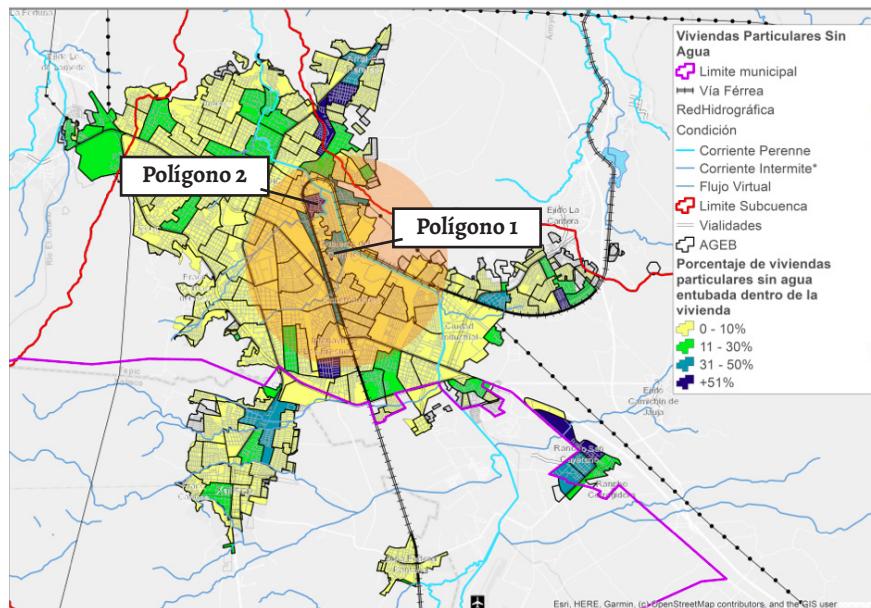


Figura 2. «Polígonos de Viviendas particulares sin agua potable en el Municipio de Tepic». Elaboración propia a partir de información de CONAPO 2010.

Ahora en la siguiente figura se han resaltado también los polígonos que presentan mayor porcentaje de viviendas particulares sin drenaje. Se puede observar que una vez más dentro del área del «Antiguo Cauce» (círculo naranja) sobresale un polígono (polígono 3) en color azul claro que presenta entre 4.1 y 8 porciento de viviendas particulares sin drenaje.

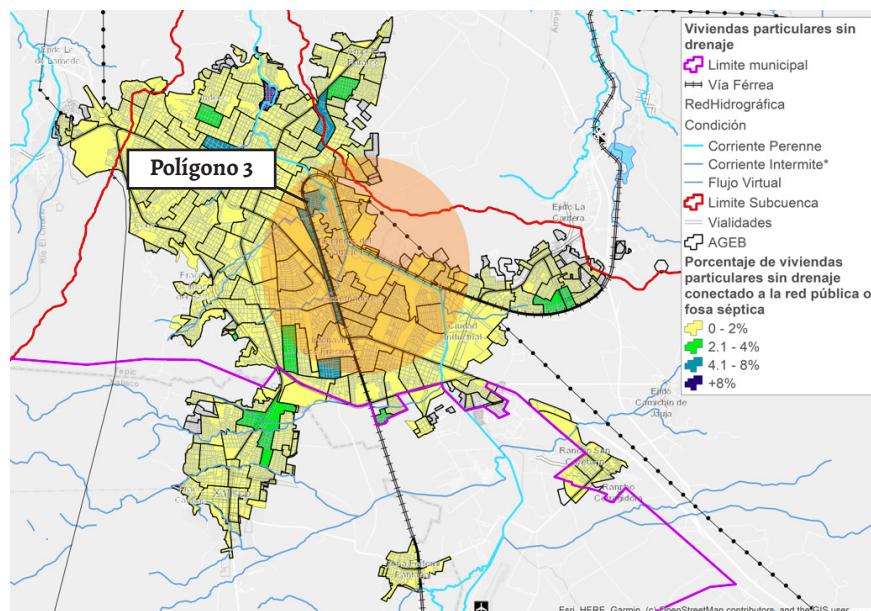


Figura 3. «Polígonos de Viviendas particulares sin drenaje en el Municipio de Tepic». Elaboración propia a partir de información de CONAPO 2010.

El desarrollo de estas dos cartografías permitió comprobar que algunos polígonos de viviendas dentro del «Antiguo Cauce» aún presentan cierta vulnerabilidad con respecto a su disponibilidad de servicios de agua potable y drenaje. Pero falta precisar las condiciones detalladas que presentan estas viviendas y sus infraestructuras, así como revisar si las condiciones de abastecimiento de agua potable y drenaje son óptimas en las distintas colonias que se ubican en la zona. La delimitación de estos polígonos fue a partir de las áreas geoestadísticas básicas (AGEB) del Instituto de Estadística y Geografía (INEGI).¹⁰

Dentro de los hallazgos de este ejercicio y gracias al desarrollo de esta serie de cartografías, se identificó un polígono (AGEB) en particular (dentro del

¹⁰ El AGEB es la extensión territorial que corresponde a la subdivisión de las áreas geoestadísticas municipales y constituye la unidad básica del Marco Geoestadístico Nacional.

«Antiguo Cauce») en el que coinciden; tanto falta de infraestructura de agua potable como de drenaje. La delimitación de este polígono podría considerarse más adelante para determinar el caso de un proyecto piloto en donde se pueda desarrollar una estrategia de integración de infraestructura con enfoque sustentable, así como de monitoreo de la misma. El polígono identificado se muestra en la siguiente figura.



Figura 4. «Polígono identificado con vulnerabilidad respecto a su disponibilidad de servicios de agua potable y drenaje». Elaboración propia a partir de información de CONAPO 2010.

En la actualidad en esta zona que coloquialmente se le ha llamado el «Antiguo cauce» aún se encuentra un humedal urbano. Un extenso cuerpo hídrico dentro de la ciudad, el cual ha quedado circundado por la urbanización. Originalmente por esta parte pasaba el río Mololoa, pero, además, debido a la topografía llana, el cauce tenía modificaciones y al nutrirse de manantiales o veneros existentes, era (y aún lo es) una zona pantanosa susceptible a inundaciones. Hasta antes del año 2007 la extensión de este humedal era de unas 60 hectáreas. (Navarrete, 2020, pág. 158)

Estos asentamientos y viviendas, que se consolidaron alrededor del humedal, en la actualidad presentan problemas de carácter ambiental y de disponibilidad de servicios básicos como lo son el abastecimiento de agua potable y

la existencia de infraestructuras óptimas de drenaje. Agregando además las problemáticas que ocasionan las inundaciones en cada temporal de lluvias y que generan graves daños a estas comunidades.

La importancia de puntualizar este diagnóstico a la zona del «Antiguo Cauce» radica en la relevancia de rescatar el humedal que aún se encuentra rodeado de urbanización; así como de brindar información y alternativas desde la vivienda para la mejora de los servicios de agua potable y drenaje con una perspectiva sustentable.

Conclusiones y prospectivas

Ante lo revisado anteriormente se ha llegado a la conclusión de que es necesario desarrollar estrategias, con un enfoque sustentable, para el mejoramiento y monitoreo de las infraestructuras de agua potable y drenaje dentro de las viviendas del municipio de Tepic y específicamente del «Antiguo cauce» del río Mololoa. Para que con esto se analice cuál es la situación particular que estas presentan y se definan cuáles serían las alternativas sustentables para integrar a estos servicios con el menor impacto ambiental.

Posterior a ya tener identificados los polígonos con viviendas en situación de vulnerabilidad con respecto a la cobertura de servicios de agua potable y drenaje dentro del «Antiguo Cauce del Río Mololoa» se buscará desarrollar una propuesta para el levantamiento de datos en campo que permita identificar y caracterizar información puntual de los mismos. Para que así se definan cuáles son sus necesidades particulares y puedan proponerse las acciones y/o proyectos a desarrollar a corto plazo. Generando con ello escenarios sustentables para la gestión integral del agua desde la comunidad, instruyendo a sus habitantes con información actualizada para la toma de decisiones.

Por otra parte, a manera prospectiva a largo plazo, y como parte también de la agenda de trabajo del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables (sede Universidad de Guadalajara) vinculada al proyecto **FO-MIX-Nayarit**, se buscará desarrollar una estrategia de levantamiento de datos

en campo y de monitoreo, a escala urbana, para diagnosticar el estado actual y dar seguimiento a las problemáticas que presentan las infraestructuras hidro-sanitarias en el «Antiguo cauce». Entre las que podrían destacar las siguientes actividades:

- Identificar, caracterizar y geo-referenciar las descargas sanitarias «irregulares» que se vierten hacia los humedales aún existentes en el «Antiguo cauce».
- Con la identificación de las descargas se procederá a caracterizar el tipo de aguas residuales que estas vierten (en relación a sus componentes químicos) a partir de una estrategia de monitoreo en un año hidrológico. Para así jerarquizar su grado de contaminación y que con ello puedan establecerse las acciones y escenarios sustentables para la reducción de contaminantes desde la escala de vivienda o urbana.
- Así como definir, por otro lado, una estrategia de monitoreo constante de las infraestructuras hidro-sanitarias que permitan dar seguimiento al estado actual de las mismas para la identificación de fallas, colapsos o problemáticas. Podrían monitorearse datos desde la escala de vivienda (de calidad de agua potable, flujos de ingresos y salidas, así como fallas estructurales en las instalaciones sanitarias y de abastecimiento, entre otros) hasta la escala urbana (identificación de descargas irregulares, contaminantes, fugas en las infraestructuras urbanas de agua y drenaje, por mencionar algunos ejemplos).
- Para potencializar esta estrategia de monitoreo valdría la pena visualizarla más adelante bajo un esquema de «Smart Water Project» en el cuál pueda sumarse tecnología de las redes de telecomunicaciones de última generación, sensores, software móvil y, en general, de soluciones para asegurar un monitoreo en tiempo real de la calidad del agua. Pero también poner a disposición de la comunidad dispositivos y aplicaciones móviles para así potencializar la participación e involucramiento

constante de la ciudadanía, donde ellos también puedan generar información y reportes constantes del estado actual de la infraestructura de abastecimiento de agua y drenaje.

Referencias

- CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN. (2019). *Ley de Vivienda*. Ciudad de México.
- CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN. (2021). *Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano*. Ciudad de México.
- CONEVAL, C. (2020). *Informe de Pobreza y Evaluación*. Ciudad de México: co-NEVAL.
- CONGRESO DEL ESTADO DE NAYARIT. (2016). *Ley de Vivienda para el Estado de Nayarit*. Tepic.
- DAVIN, S. (06 de Septiembre de 2022). *ONU-Hábitat, por un mejor futuro urbano*. Obtenido de <https://onuhabitat.org.mx/index.php/mujeres-y-vivienda-adecuada>
- ESPEJO, N. (2010). El derecho a una vivienda adecuada. *Revista CIS*, 48-63.
- GOBIERNO DEL ESTADO DE NAYARIT. (2011). *Programa Estatal de Vivienda, Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial 2011-2017*. Tepic: Periodico Oficial.
- GOBIERNO DE MÉXICO. (20 de Septiembre de 2022). *Programa Vivienda Digna*. Obtenido de Programa de Apoyo a la Vivienda: <https://www.gob.mx/fonhapo/acciones-y-programas/programa-vivienda-digna>
- GOBIERNO DE MÉXICO. (20 de Septiembre de 2022). *Raíces, Programa de Vivienda Rural e Indígena*. Obtenido de <https://www.gob.mx/fovissste/acciones-y-programas/raices-programa-de-vivienda-rural-e-indigena>
- GOBIERNO DE TEPIC. (2021). *Programa de Gobierno 2021-2024*. Tepic: Gaceta Extraordinaria Número: 5.

- INEGI. (19 de Septiembre de 2022). *Censo Nacional de Vivienda*. Obtenido de Viviendas particulares habitadas por entidad federativa según disponibilidad de servicios, serie de años censales de 2000 a 2020: https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Vivienda_Vivienda_04_1fb94584-4816-4435-a1b7-4689b8d2ee81&idrt=56&opc=1
- INSTITUTO DE PLANEACIÓN DEL ESTADO DE NAYARIT. (2021). *Plan Estatal de Desarrollo de Nayarit*. Tepic: Gobierno del Estado de Nayarit.
- MEJÍA-ESCALANTE, M. (2016). La vivienda digna y la vivienda adecuada. Estado del debate. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 292-307.
- MOHD SHARIF, M. (2018). *Vivienda y ODS en México*. México: ONU Hábitat.
- NACIONES UNIDAS. (2015). *Declaración Universal de los Derechos Humanos*. Naciones-Unidas.
- NACIONES UNIDAS. (7 de Septiembre de 2022). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- NAVARRETE, L. (Mayo de 2020). El río Mololoa: la construcción polisémica del paisaje fluvial urbano en Tepic, Nayarit, México. *Tesis Doctoral*. Tepic, Nayarit, México: Doctorado en Ciencias Sociales de la Universidad Autónoma de Nayarit.
- NAYARIT, G. D. (2019). *Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano para el Estado de Nayarit*.
- ONU-HÁBITAT. (6 de Septiembre de 2022). *ONU-Hábitat, por un mejor futuro urbano*. Obtenido de <https://onuhabitat.org.mx/index.php/elementos-de-una-vivienda-adecuada>
- OSORIO ÁLVAREZ, A. (2017). Urbanismo, reasentamiento de la población y vivienda adecuada: desafíos para la defensa de los derechos humanos en los territorios. . *Ratio Juris*, 61-86.
- POVEDA MAÑOSA, A. J. (2021). *La Biblioteca Complutense y los ODS*. Madrid: Biblioteca Universidad Complutense.

- SEDATU, S. (2019). *Programa Nacional de Vivienda 2019-2024*. Ciudad de México: Gobierno de México.
- SEDATU, S. (2020). *Programa Sectorial de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano 2020-2024*. Ciudad de México: Gobierno de México.
- SEDESOL. (2010). *Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Tepic*.
- TORRES TOVAR, C. A. (2009). *Ciudad Informal Colombiana, Barrios Construidos por la Gente*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- VELÁSQUEZ MONSALVE, E. (10 de Septiembre de 2022). *ONU-Hábitat, por un mejor futuro urbano*. Obtenido de <https://onuhabitat.org.mx/index.php/la-vivienda-en-el-centro-de-los-ods-en-mexico>



SEGUNDA PARTE

**Plan de mitigación del riesgo
por inundaciones en la cuenca
del río Mololoa**



Diagnóstico del riesgo por inundaciones

Eliana Rodríguez Burgueño¹ y Jorge Ramírez Hernández²

Introducción

En este capítulo se describe cómo era el régimen de los escurrimientos naturales en la ciudad de Tepic desde los inicios del siglo XIX, la forma en que el río Tepic (más tarde denominado río Mololoa) formó parte de la configuración de la ciudad, del desarrollo de las actividades económicas y en general de la transformación tanto del paisaje urbano de la ciudad de Tepic como del mismo río Mololoa. Enseguida se aborda la situación actual del sistema de drenaje, describiendo las más importantes modificaciones del cauce del Río Mololoa, el impacto de la urbanización de los zanjones que propiciaron su aislamiento y la reducción de los humedales naturales con la construcción del aeropuerto. En el tercer apartado se describen algunas modificaciones del sistema de drenaje para hacer transitar el agua desde los bordes de la ciudad hasta el cauce prin-

¹ Investigadora del Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Correo electrónico: eliana.rodriguez@uabc.edu.mx

² Investigador del Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Correo electrónico: jorger@uabc.edu.mx

cipal, forzadas por el crecimiento de la ciudad con su intensa urbanización. Estas acciones están enfocadas primordialmente en desarrollar infraestructura hidráulica, sin embargo, el crecimiento progresivo del caudal les confiere una corta vida útil, por lo cual la mitigación del riesgo de inundaciones no ha sido efectivamente reducida. Finalmente, en la cuarta sección se presentan las zonas identificadas como en riesgo de inundación explicando el origen de esa agua y las razones por las que el agua no transita hacia el canal de descarga principal, el Río Mololoa.

Régimen de escurrimiento natural (histórico) en la ciudad de Tepic.

Desde la fundación de la ciudad de Tepic a la ribera del río Tepic que a partir de mediados del siglo XX fue conocido como el río Mololoa ha jugado un rol importante en su desarrollo como la fuente de agua para la irrigación de tierras agrícolas del fértil valle que los indígenas llamaban Matatipac, la actividad ganadera y de manufactura. El río Mololoa proporcionaba energía a dos fábricas textiles (Jauja y Bellavista) y a los modernos ingenios azucareros (Puga y La Escondida), aprovechando su flujo perenne (POE, 1891). El río que nace al suroeste de la ciudad recibe los escurrimientos desde los cerros San Juan, Coatepec, San Bartolo, Sanganguey, El Gavilán, Los Metates, Jauja y las Lomas de Acayapan era navegable desde el actual Puente de San Cayetano hasta el puente México. Estos afluentes y los diversos manantiales que afloran en el valle de Matatipac daban lugar a un cauce perenne.

La conducción de estas aguas hacia sus diversos usos, particularmente los extensos campos de caña, requirió que los hacendados del siglo XIX desarrollaron un complejo sistema hidráulico que mediante tajos o túneles salvarán el accidentado relieve del terreno y los lomeríos dando lugar a una red de acequias y canales que se llegó a comparar con los sistemas de irrigación de California que en aquel momento era lo más adelantado (Luna & Jarquín, 2012, p. 2). El uso intensivo del agua del río Mololoa y su importante papel en el desarrollo económico de la región llegó a ser tan importante como la misma posesión de

la tierra y para finales del siglo XIX estaba totalmente acaparada por la casa Aguirre.

Más tarde, a inicios del siglo XX el río Mololoa empujó a la región y particularmente a la ciudad de Tepic a la modernidad con el aprovechamiento de parte de su caudal en la generación de energía eléctrica. El abasto de energía en un principio fue a través de un particular (casa Aguirre) con la hidroeléctrica Tepic, conocida también como El Punto con 280 kW y 5,000 L/s (Morán, 1988, p. 54). El reparto agrario después de la revolución convirtió las grandes haciendas en varias decenas de ejidos y miles de ejidatarios, no fue sino hasta 1941 cuando la recién fundada Comisión Federal de Electricidad (1937) construye la hidroeléctrica de Jumatán que también usa aguas del río Mololoa iniciando con 240, 500 en 1945, hasta alcanzar 1240 kW en 1961. La hidroeléctrica Tepic sale de operación totalmente en 1979 (Morán, 1988, pp. 59-60).

Los trabajos de limpieza y saneamiento del río se remontan a inicios del siglo XX con el objeto de liberar el cauce para la mejor circulación del agua hacia la primera hidroeléctrica en el tramo del Puente Cayetano a la presa Jauja. En estos trabajos se incluyó la rectificación y ampliación tanto del cauce como de las acequias que conducían el agua a los ingenios y telares provocando inundaciones en ambos márgenes y dando lugar a numerosos pantanos que se mantienen inundados durante toda la época de lluvias (La Democracia, 1901, p. 2). A la falta de drenaje sanitario y a la concentración de aguas pluviales y sanitarias en las llanuras de inundación del río se atribuyeron altos contagios de paludismo durante la época de lluvias que por su número y gravedad constituyán una mortífera epidemia (Democracia, 1901, p. 2) *Resulta interesante que desde esos años se menciona también la remoción de lirio acuático como parte de los trabajos de limpieza* (Luna & Jarquín, 2012, p. 17).

Modificaciones del régimen de escurrimiento por el crecimiento de la ciudad desde finales del siglo XX.

La obra de mayor envergadura por su impacto y costo en el manejo de los

escurrimientos dentro de la ciudad de Tepic fue la canalización del cauce del río Mololoa que consistió en la rectificación del cauce desde el puente San Cayetano de la carretera federal 15D hasta la Avenida México. La obra se realizó a partir de 1976, en el que se conformó un cauce trapezoidal con taludes de enrocamiento, una plantilla de aproximadamente 25 m y una profundidad de 3 m que permitiría ser navegable, se consideró la construcción de una nueva presa en El Salto, estructuras y diques en dicha presa; remodelación de los puentes de San Cayetano, el de la Avenida México, el de la calle San Luis y otros para peatones.

Esta obra incluyó también la instalación de un colector de aguas negras a lo largo de la margen izquierda, desde la zona industrial hasta el poblado (Navarrete, 2020, p. 24). Si bien, el fin primordial era reducir el riesgo de inundaciones y la disminución de los pantanales que sé que formaban en las planicies de inundación de los meandros evitando las grandes inundaciones que durante el época de lluvias se extendían (Diario el Pacífico, 1976, p. 1), también era de interés modernizar la ciudad recuperando entre 400 y 600 ha que podrían ser integrados al fundo legal de la ciudad y que serían urbanizadas con avenidas de circulación en ambos sentidos dando un nuevo gozo al ciudadano y visitantes con paseos, áreas verdes, alumbrado público (El Observador de Nayarit, 1976, p. 1).

La rectificación del cauce consistió básicamente en abandonar los meandros y zonas de inundación (pantanosa) que desde el punto de vista hidrológico formaban parte importante del movimiento del agua en la ciudad como estanques de detención del escurrimiento y reducción del caudal pico. Estos meandros son propios de ríos con grandes avenidas sobre valles con lomeríos bajos que se desplazan sobre la llanura de inundación que el desarrollo urbano los dejó en medio de la ciudad. La obra tuvo un costo de 34 millones de pesos incluyendo los trabajos de obra civil, las indemnizaciones, construcción de viviendas, intereses, gastos de supervisión e imprevistos (POE, 1976, p. 1).

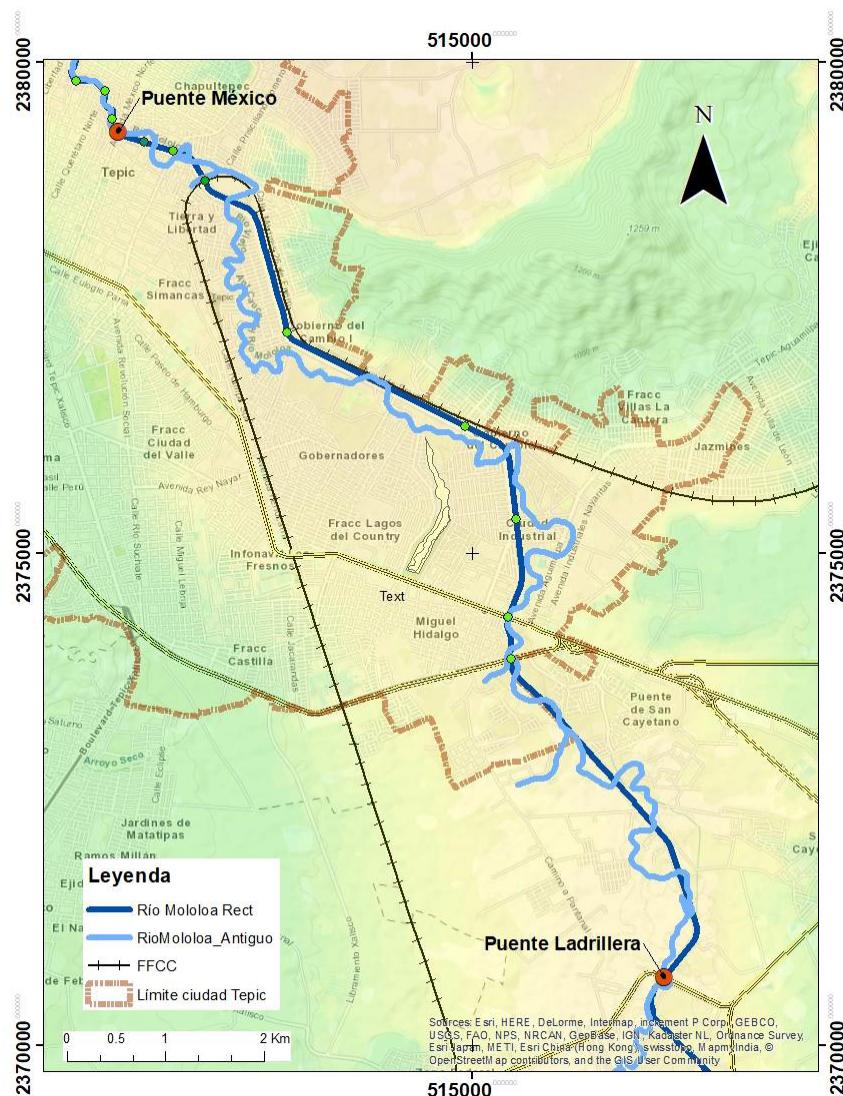


Figura 2. Trazo del antiguo cauce del Río Mololoa y su rectificación. Tomado de INEGI, mapa 1:50 000 edición 1971. Elaboración propia.

Es preciso anotar que esta iniciativa no se trata de un evento aislado con respecto a otras ciudades del país y del mundo, a lo largo de la historia las ciudades que se han asentado próximas a ríos, por la evidente ventaja de obtener agua para todas las actividades humanas, han sido canalizados y rectificados con el objeto de aprovechar esas llanuras para desarrollos urbanos aliviando la presión que el crecimiento de la ciudad impone y rescatando terrenos cuya urbanización representa la modernización de las ciudades. Si bien esta rectificación representó la pérdida de superficies de humedales naturales y algunos de los meandros, principalmente los más próximos a la rectificación. Otro aspecto positivo que tiene que considerarse es que no se canalizó el cauce con recubrimientos de concreto ni en el fondo ni en los taludes, lo que permite mantener vegetación en los taludes y fundamentalmente su conexión hidráulica con el acuífero. Por otro lado, se requiere dragado periódico del cauce para el transporte de sedimentos hasta esta porción del cauce que tiene la pendiente más baja.

Antes de salir de la ciudad, la capacidad del cauce se redujo, o bien no pudo ampliarse, en algunos de los puentes. Principalmente las ubicadas aguas abajo del puente México en que la presión urbana había invadido los márgenes del río Mololoa mediante la construcción de diques que acotaron el cauce y permitieron el asentamiento de edificaciones principalmente de casas habitación que se incrementaron de forma muy drástica a partir de la década de los 60's. Sin embargo, esta ocupación de los taludes y las terrazas bajas próximas al cauce se remonta desde mediados del siglo XIX. El desarrollo urbano de esta zona estaba asociado al auge de la primera fábrica de hilados y tejidos de algodón de la región, llamada Jauja. La construcción de la fábrica se inició en 1835 y para 1838 ya estaba funcionando (Navarrete, 2020, pp. 21-22). Tenía una toma de agua mediante un represo a un kilómetro aguas arriba conduciendo el flujo mediante la derivación del cauce y una obra de conducción hasta la fábrica en donde se aprovechaba como fuerza motriz de la fábrica con una capacidad de 80 caballos de fuerza (Contreras, 2003, p. 87).

Un incendio en el año 1946 marcó el final de la fábrica y de una época de la ciudad de Tepic. A un costado de la fábrica de hilados se construyó el puente del Jauja que cruza el río Mololoa y que era utilizado para recibir la materia prima y transportar los productos, con un solo carril vial, pero cuya función principal dejó de ser de utilidad después del incendio de la fábrica. La utilidad del puente para el funcionamiento de la fábrica, su belleza y valor histórico por ser el único vestigio conservado impiden su modernización. Sin embargo, su capacidad de conducción es muy reducida, ya que parte del flujo del río Mololoa se desviaba hacia la fábrica, la pendiente del cauce en ese tramo es uno de los más altos, lo que propiciaba altas velocidades con secciones transversales pequeñas.

Ante esta situación, con el objeto de preservar el puente Jauja y mejorar su capacidad de conducción el organismo operador del agua de Tepic instaló tubería en la margen izquierda del puente Jauja que ha permitido ampliar la capacidad de conducción y conservar el puente en su estado original.



Figura 3. Situación actual del puente Jauja. Foto tomada por Julián Gazcón Ocádiz.

Esta pérdida de superficies pantanosas cuya función regulatoria del flujo es tan importante, vio mermada su superficie con la construcción del aeropuerto de Tepic, incorporado a la red de Aeropuertos y Servicios auxiliares en 1991 (ASA, 2020, p. 16), sobre las planicies de inundación del sur de la ciudad en el ejido El Pantanal, en la zona de confluencia del arroyo el Pantanal con el río Mololoa a 15 km de la ciudad de Tepic. El aeropuerto cuenta con una superficie de 414 ha de las cuales 16,200 m² están destinadas a la plataforma de aviación comercial, con tres posiciones de desembarque y una pista de 2.3 km de longitud, que tuvieron que ser elevadas para darle estabilidad y permitir el drenaje perdiendo su capacidad de inundación. La demarcación de los terrenos destinados al aeropuerto consideró por su flanco norte la canalización del arroyo El Pantanal que recoge los escurrimientos de la porción suroeste del valle de Matatipac para descargarlas en el río Mololoa. De igual forma se canalizó el río Mololoa para evitar que continuara inundando la zona del pantanal en la que se aloja el aeropuerto.

Estas canalizaciones incrementan la velocidad de tránsito en la entrada a la demarcación actual de la ciudad aumentando el pico de descarga en situaciones de precipitaciones y escurrimientos extremos desarticulando las funciones de retención y detención de flujos extraordinarios. Considerando que el estado de Nayarit es uno de los estados listados en los estados propensos a los huracanes de la costa del Pacífico la ocurrencia de precipitaciones intensas no es extraordinaria, por ejemplo, el huracán Kenna en el 2002 ocasionó alrededor de 92,033 pobladores afectados en los municipios de Nayarit incluyendo al de Tepic (Beas-Medina, López-Solis, Rentería-Jardon, & Ramírez-Cordero, 2020, p. 320) la pérdida de estanques naturales de regulación es de singular importancia.

A su vez, el incremento de la velocidad reduce el tiempo de residencia del agua y con ello los volúmenes de agua infiltrados al subsuelo que eventualmente constituyen una recarga importante al acuífero. Antiguamente, la presencia de manantiales en todo el valle de Atemajac, que inclusive formaban parte del

flujo base del río eran un reflejo del somero nivel del acuífero y de la estrecha relación entre estos humedales naturales y el agua subterránea.

Los escurrimientos provenientes del oeste de la ciudad de Tepic, con dirección SW-NE, son captados en la vertiente oriente del cerro San Juan cuya elevación máxima es de 2,250 m sobre el nivel del mar (s.n.m.) con una diferencia de altura con el borde poniente de la ciudad que se ubica alrededor de los 1,000 m de altura y el RM con una altura de 930-880 m aproximadamente. Este acusado desnivel hace que los escurrimientos alcancen altas velocidades en las faldas del cerro, acarreando sedimentos que forman depósitos conocidos como piedemonte y provocan erosiones de sedimentos más suaves y con texturas más finas.

Estas erosiones se producen a lo largo de los flujos preferenciales de los canales dispuestos en forma de abanicos aluviales. Cuando la erosión es muy intensa y profunda se producen cárcavas de erosión, que en la ciudad de Tepic son denominadas zanjones. La función hidráulica de estas cárcavas es variable a lo largo del evento de escurrimiento. Al inicio del escurrimiento almacena agua en estos depósitos cuyo volumen está en función directa de la profundidad y extensión de la cárcava (zanjón), durante el llenado hasta alcanzar el volumen máximo reducen la velocidad del agua y con ello su energía erosiva para continuar con el escurrimiento aguas abajo; durante todo el evento de llenado y después de terminar el escurrimiento, el volumen almacenado se infiltra al acuífero.

Al igual que las planicies de inundación los zanjones tienen una función hidrológica importante que debe ser preservada. Sin embargo, el crecimiento de la ciudad en el flanco oeste, ha generado una presión muy importante sobre los zanjones, reduciendo su extensión y funcionamiento de diferentes formas: a) la urbanización ha aislado a los zanjones de sus escurrimientos de tal forma que ya no es posible identificar en muchas ocasiones hacia donde continua el canal de escurrimiento; b) Se han rellenado sus taludes para ganar terreno para la construcción, hasta donde la misma geometría del zanjón lo permite; c) se

han construido casas dentro del zanjón, con el peligro inminente de inundaciones. Estudios recientes mostraron que 6,427 habitantes en 2234 viviendas de 34 colonias que viven en las inmediaciones o dentro de los zanjones están en riesgo con una vulnerabilidad media, lo que pone en evidencia la inutilidad de los planes de desarrollo urbano de la ciudad de Tepic (Beas-Medina et al., 2020, p. 317).

No únicamente por haber reducido su función de reducir la velocidad y volumen del escurrimiento que resulta evidente durante tormentas intensas provocando el llenado de los sistemas de conducción de aguas pluviales denominados interceptores, los canales a cielo abierto como el canal El Sabino, aumentando el riesgo por inundación, sino, además estas acciones han provocado en su conjunto una importante reducción de la recarga del acuífero por infiltración vertical que aunado a la sobreexplotación por el incremento de la demanda de agua en la agricultura y el sector urbano que ahora se ven en el abatimiento de hasta 0.53 m/año al sur de la zona de El Pantanal y en el poblado de San Cayetano que corresponden a la planicie del valle en donde se concentran la mayor densidad de pozos, con una evolución media de 0.38 a 0.5 m/año para el período 1985-2002 (Conagua, 2015, p. 32).

Funcionamiento hidrológico actual y sus principales retos.

De forma histórica el RM constituye el conducto de drenaje de la cuenca al que confluyen todos los escurrimientos, por lo que de forma natural es de esperar que tuviera la capacidad de desfogar la totalidad del escurrimiento. Sin embargo, dada la baja pendiente del cauce al llegar al valle de Matatipac y los incrementos de caudal, como se comentó antes, el cauce formaba meandros cuyas planicies de inundación eran llenadas estacionalmente. Este anegamiento de enormes superficies era parte del funcionamiento natural del RM sobre la planicie. Después de la canalización y rectificación del cauce a finales de los años 70's se modificó de forma sustancial el régimen de descarga. En esos años, se desecaron los humedales próximos a la rectificación, se recuperaron

las superficies programadas y se construyeron las vialidades en un flanco del cauce. Esta nueva vialidad denominada Blvd. Luis Donaldo Colosio dio como se había previsto un carácter más moderno a la ciudad.

Sin embargo, el crecimiento de la superficie urbana de la ciudad de Tepic fue muy intenso, pasando de una superficie de 6.8 km² en el año 1973 a 68.8 km² en el año 2015, con un crecimiento anual promedio de 1.48 km² anuales reemplazando de forma directa las superficies agrícolas y éstas a su vez han creado un proceso de deforestación (Avalos-Jiménez, Vilchez, González, & Flores, 2018, p. 13). Este intenso crecimiento urbano trajo consigo no solo una enorme presión sobre las superficies agrícolas para la construcción de zonas habitacionales sino también el crecimiento de servicios propios de una ciudad moderna como el aeropuerto, granjas para la engorda de ganado, mataderos, áreas de almacenamiento de mercancías, autos usados y deshuesaderos, entre otros.

El crecimiento poblacional referido fue en parte impulsado por la caída de la rentabilidad de los principales productos agropecuarios que antes habían impulsado el dinamismo económico (Covarrubias-Dorado, 2016, p. 57). El desarrollo de las ciudades de Tepic y Xalisco dio lugar a un área metropolitana que favoreció los movimientos migratorios de los municipios del interior del estado contribuyendo a un acelerado y desordenado crecimiento de la zona.

Aunado a estos cambios en el uso de suelo, la pérdida de las superficies de humedales, la reducción de las cárcavas de erosión (los zanjones), el recubrimiento de las calles con concreto hidráulico y asfalto, han representado un reto en el manejo del escurrimiento dentro de la ciudad. El organismo operador del agua de Tepic (Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado, SIAPA) en conjunto con la Comisión Estatal del Agua con el apoyo de la Comisión Nacional del Agua han buscado diversas estrategias para reducir el riesgo por inundaciones, entre las que se podrían mencionar, sin ser exhaustiva, las siguientes.

La construcción de una red de sistema de agua pluvial, denominados interceptores pluviales. Esta red está distribuida en la porción central y oeste de

la ciudad mayoritariamente, con el objetivo de conducir los escurrimientos pluviales que vienen del cerro San Juan hacia el cauce del RM. El incremento gradual pero constante de los escurrimientos provenientes de esta zona, por la creciente urbanización ha progresivamente superado la capacidad de los interceptores, disminuido la capacidad de infiltración en el sistema de zanjones y la urbanización en las faldas del cerro San Juan ha impedido la infiltración de agua en los sedimentos de piedemonte.

Si bien, este sistema de drenaje funciona con suficiente gradiente en los márgenes de la ciudad (al oeste) a medida que se aproximan a la zona de antiguos meandros próximos a la canalización del RM el terreno posee cotas más bajas que la superficie de descarga del RM imposibilitando una óptima descarga provocando inundaciones en las colonias próximas a los antiguos meandros y al actual trazo del RM desde la carretera Tepic-Guadalajara No. 15D hasta el Puente México. Más aún, recientemente se ha documentado subsidencia del terreno en los centros urbanos de Tepic y Xalisco de hasta 7 cm/año asociada a la sobreexplotación de los mantos acuíferos, aunque no se han identificado subsidencia en las zonas agrícolas (Herrera-León, Pacheco-Martínez, Hernández-Marín, Padilla-Ceniceros, & Perez-Rea, 2018, p. 376).

En la margen derecha del RM se cuenta también con un sistema de interceptores pluviales que colecta el escurrimiento y lo descarga en el RM, de mucho menor envergadura. En general, este margen posee un mayor gradiente hidráulico descargando con mayor facilidad que el sistema de la margen izquierda. Sin embargo, la porción en el extremo noreste de la ciudad dentro del cono volcánico del Volcán Tepic ha visto el cambio de suelo a habitacional de forma paulatina, sufriendo fuertes inundaciones por la necesidad de evacuar los escurrimientos a través de la galería-túnel «El Tajo» que conduce el agua hasta el RM requiriendo labores de mantenimiento y desazolve cada vez más frecuente.

Ante la creciente superficie urbana, el sistema de drenaje debe responder con el crecimiento de la cobertura y de su capacidad, abarcando las zonas que se han identificado en riesgo de inundación. Sin embargo, la capacidad

del sistema es superado frecuentemente por el incremento del caudal pico, por el crecimiento de asfalto y la pérdida de superficies de infiltración (suelos desnudos) dándoles una vida útil muy corta.

La ciudad contaba con un sistema de cauces antiguos que conducían agua de los manantiales y escurrimientos desde diferentes flancos de la ciudad, particularmente desde la porción oeste, descargándolos en el RM, sin embargo, que la presión urbana obligó a convertirlos en canales a cielo abierto recubiertos de concreto. Otros fueron rellenados utilizando estas áreas para la construcción de parques como fue el caso del parque Juan Escutia (Implan-Tepic, 2000, p. 40) page 40. Actualmente los manantiales que fueron descritos por los historiadores durante el inicio del siglo pasado ya no aportan agua al sistema de drenaje superficial y los canales funcionan solo de forma estacional, manteniéndose secos durante toda la temporada de estiaje. El más grande e importante de ellos es el canal El Sabino, drena el agua de la zona sur oeste de la ciudad descargando al RM por un lado del meandro más grande que aún existen.

Las conducciones de agua a cielo abierto dentro de las ciudades tienen diversos problemas que atender; uno de ellos es la acumulación de basura dentro de sus cauces ya que una buena parte del tiempo están vacíos, lo que requiere de un programa de mantenimiento continuo, otro, es la competencia en el mantenimiento, que en muchas ocasiones continúa siendo de competencia federal haciendo difícil la operatividad de los organismos municipales o estatales. El tercer problema, es la construcción de puentes viales o peatonales que, en muchas ocasiones, como sucede en la ciudad de Tepic reducen la capacidad de conducción de agua generando cuellos de botella con desbordamientos e inundaciones de los asentamientos aledaños.

Como el sistema de interceptores a medida que aumentan las urbanizaciones aguas arriba estos canales conducen mayor cantidad de agua durante las tormentas y su capacidad es paulatinamente rebasada. El organismo operador de la ciudad de Tepic ha buscado estrategias para darle mayor capacidad a este sistema de canales, entre ellas, la construcción de sistemas de retención dentro

de la ciudad para reducir el pico de las avenidas y mantener la vida útil de los sistemas de conducción de agua pluvial. Por ejemplo, el proyecto del sistema de retención modular en el recinto ferial cuya capacidad total almacenaría 1,700 m³ durante 3.5 horas.

Adicionalmente a estos antiguos arroyos que fueron convertidos en canales, algunos canales han sido construidos para desviar los escurrimientos pluviales de forma completamente artificial. El canal pluvial arroyo Seco construido a lo largo del borde poniente de la Carretera Nacional 15 Tepic-Guadalajara conduce parte de las aguas que escurren desde el cerro San Juan hacia el sur para incorporarse a la cuenca del arroyo Seco evitando su avance hacia la ciudad en esta porción oeste, con una longitud de 2.1 km. Esta zona de la ciudad se expandió a partir del año 2000 ocupando la zona exterior de la carretera (González, 2019, p. 35). Este desvío de agua permite disminuir el pico del caudal que es conducido por el sistema de interceptores y los canales.

En el otro extremo de la ciudad, la zona de las Canteras cuya urbanización se ha incrementado de forma muy intensa, con usos de suelo incompatibles, especulación del suelo y de la vivienda, a partir del año 2000 surgen varios asentamientos humanos en la reserva territorial de La Cantera albergando una población de 40,000 habitantes (Covarrubias-Dorado, 2016, p. 91). Como parte de la cuenca, los escurrimientos de esta porción oriental de la ciudad se dirigen hacia el RM y son canalizados a través de un sistema de canales a cielo abierto recubiertos de concreto. Este sistema de canales descarga al RM en la zona próxima a la planta de tratamiento de aguas residuales incrementando el caudal de ingreso por este flanco del RM.

Zonas con mayor riesgo por inundaciones.

Las inundaciones dentro de la ciudad de Tepic son recurrentes desde la fundación de la ciudad como se comentó en la primera sección de este capítulo. Sin embargo, en esas épocas estaba completamente relacionado a las planicies de inundación del RM, a sus cursos meándricos y a las zonas de humedales en

la porción sur del valle de Matatipac (La zona de El Pantanal). La rectificación de cauce redujo efectivamente la superficie inundable de aproximadamente entre 400 y 600 ha de las cuales 200 ha fueron enajenadas al municipio de Tepic (DOF, 1975, p. 1) y urbanizada (citar la forma en que se urbanizó) dejando únicamente algunos vestigios de los meandros más recientes, ya desconectados del cauce principal del RM.

El Atlas de Riesgo 2014 (SEDATU, 2014, pp. 115-141) describe y zonifica estas zonas con mucha precisión, observándose que la mayor superficie inundada corresponde a zonas que no han sido adecuadamente drenadas y que acumulan agua en superficie dando lugar a inundaciones y en menor medida por el desbordamiento del RM. Hacen una consulta pública sobre la identificación de zonas inundadas durante los huracanes Odiel del 10 al 18 de septiembre y el Simón del 1 al 7 de octubre del 2014 que impactaron con fuertes lluvias a la ciudad de Tepic provocando inundaciones. De igual forma la CEA realizó una zonificación de las áreas con más susceptibilidad de inundaciones a partir de las cuales proponen sus proyectos de mitigación de riesgo por inundación. Estos dos esfuerzos de zonificación son independientes y con fuentes de información diferentes, lo que hace que su superposición sea de mucha utilidad (Figura 4).

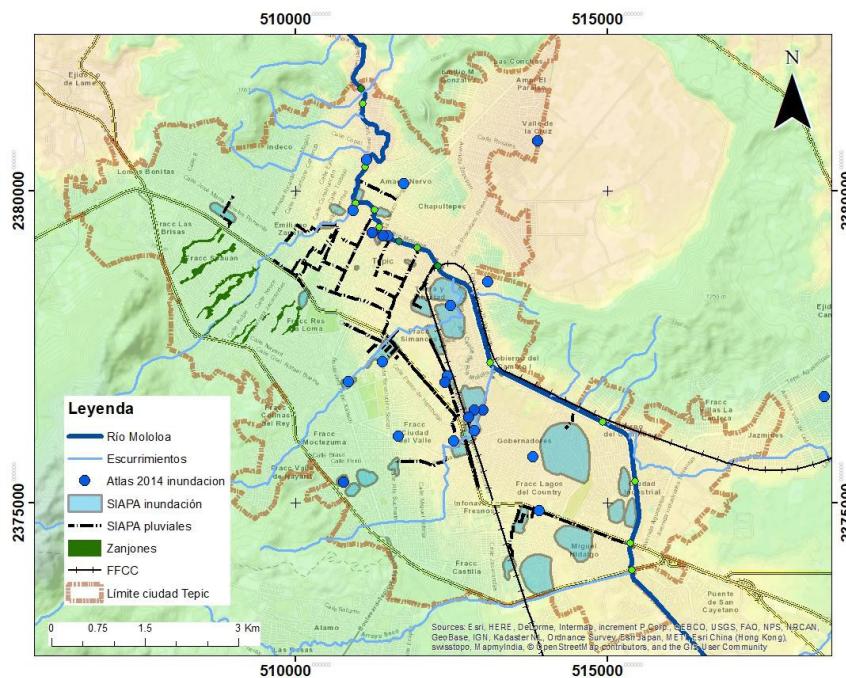


Figura 4. Localización de áreas de inundación referidas en el Atlas de Riesgo del 2014 (SEDATU, 2014, p.121-135) y SIAPA. Elaboración propia.

La mitigación del riesgo por inundaciones requiere una visión holística en la que se identifiquen y analicen los orígenes del agua que los provocan tanto desde su situación geográfica como desde la intensidad de los eventos que los causan. En la ciudad de Tepic se ha identificado que las áreas inundadas se deben a, al menos tres fenómenos de escurrimento, uno se relaciona con el aumento del caudal dentro del cauce del RM y se acota a las inmediaciones de su cauce; el segundo se debe a los escurrimentos provenientes del cerro San Juan que cruzan desde el oeste toda la ciudad para descargar en el cauce del RM; y el tercero, los escurrimentos provenientes de la zona del volcán Tepic y la zona de la Cantera en el oriente de la ciudad cuya topografía le impide

drenar los escurrimientos y el incremento de la urbanización produce cada día mayores afectaciones.

Inundaciones a lo largo del RM. Desde su ingreso a la ciudad el RM se enfrenta con dos obstrucciones, el puente de la Carretera Guadalajara-Tepic y el puente Insurgentes (San Cayetano) que no por su capacidad de diseño sino por la falta de mantenimiento y desazolve generan incrementos en la elevación de la lámina de agua que propician riesgos de inundaciones, ocupando las planicies de inundación más altas y en muchas ocasiones inundaciones acotadas a los terrenos adyacentes al cauce. Es importante anotar que aguas arriba del puente San Cayetano se encuentra el ingreso del agua proveniente del interceptor Tecnológico cuyo ingreso también contribuye al remanso del agua dentro del cauce principal.

Aguas abajo, el remanso provocado por la obstrucción del flujo del puente Parque Ecológico y la falta de limpieza de los taludes ha llegado a niveles de peligro ante precipitaciones de baja intensidad como se observa en la figura 31 tomada durante la tormenta del 29 de agosto del 2021 en la que el agua casi alcanza la corona del talud con el riesgo de desbordamiento.



Figura 5. Vista del nivel de agua durante la tormenta del 28 de agosto del 2021 vista desde la margen izquierda. Foto tomada por Julián Gazcón Ocádiz.

Otro remanso es provocado por el ingreso de agua del canal El Sabino al cauce del RM en donde durante los eventos del caudal pico de escurrimiento provoca

una interferencia en el cauce principal que frena el paso del agua elevando el tirante. A menos de 20 metros aguas abajo se encuentra el puente Principal (conocido localmente como el Abajeño) que ha sido modernizado recientemente y que no constituye una obstrucción al caudal.

Aunque los puentes siguientes antes de llegar al puente México tienen capacidades reducidas de conducción de agua, el mantenimiento a la canalización ha permitido que en este tramo no se presenten eventos de desbordamiento. Sin embargo, el puente México ha generado elevaciones del cauce por su obstrucción y con ello la inundación de la calle Proyecto en la margen derecha que corre a lo largo del río con una cota más baja que los taludes.

A partir del puente México la pendiente del cauce aumenta drásticamente lo que permite que el cauce sufra una especie de encañonamiento y reduzca su sección. Los puentes aguas abajo tienen una capacidad reducida que provoca remansos, pero en este tramo lo que determina la peligrosidad de las inundaciones es por un lado la presión urbana que ha acotado el cauce con taludes verticales que en muchos casos conforman las paredes de las casas habitación contiguas y por otro, la velocidad del agua. Las zonas inundables son las calles más próximas al cauce de las Colonia Paseo de la Constitución y Acayapan en la margen izquierda y Miguel Ángel Paredes y Amado Nervo en la margen derecha. La zona aledaña a las Ruinas de Jauja por el remanso del puente también está sujeta a inundación, pero adicionalmente por que baja la cota de los terrenos aledaños que actualmente están urbanizados pero que formaron parte de la planicie de inundación del RM.

Inundaciones desde el flanco oeste provenientes del Cerro San Juan. Las zonas inundables de agua proveniente del cerro San Juan pueden clasificarse de forma general en tres tipos. El primero, que en general es de menor extensión son las zonas en las que los escurremientos superficiales conducidos por los zanjonnes hacia el centro de la ciudad y en dirección noreste son descargados a las urbanizaciones y los interceptores pluviales o no tienen capacidad de recolectar toda esta agua formando zonas inundadas. Este es el caso de las colonias

la Huerta y el Rodeo y la colonia Versalles y zona Centro, así como las colonias Los Fresnos Poniente en las calles Reforma y Belice, Villas de la Paz, Lázaro Cárdenas, Predio San Martín e IMSS colectados por el interceptor Rey Nayar. El segundo tipo, corresponde los escurrimientos superficiales y los canales de conducción de aguas pluviales que han sido modificados por la urbanización presentando zonas de desbordamiento, en general están acotados a las inmediaciones de dichos escurrimientos, como la zona de la colonia Caja de Agua y colonia Menchaca o el callejón Guadalupe Victoria en la Colonia Heriberto Casas, la zona de las colonias Santa Teresita y el Naranjal.

El tercer tipo, que se puede explicar porque el suelo sobre el que se realizó la urbanización correspondía a las planicies de inundación del antiguo cauce del RM, de tal forma, que los escurrimientos que no han sido captados por algún interceptor, canal o antiguo escurrimiento adicionalmente a la propia precipitación captada en esas áreas no pueden ser evacuada de forma adecuada, por la diferencia de nivel del agua en el cauce del RM con respecto al nivel del terreno. En esta zona la eficiencia de los interceptores es muy baja durante las tormentas. En este tipo se encuentran las zonas que fueron recuperadas con la rectificación del cauce que se encuentra entre la vía del ferrocarril y el cauce del RM. Empezando de aguas arriba hacia aguas abajo; la zona de las colonias Miguel Hidalgo, Fracc. Valle de Matatipac y Fracc. Infonavit entre el Blvd. Tecnológico y la carretera Guadalajara-Tepic incluyendo la zona del Instituto Tecnológico de Tepic. Las colonias aledañas al RM, las colonias Jacarandas, Microindustria, Comerciantes, Luis Donaldo C., Benito Juárez Oriente. Las próximas al canal el Sabino, las colonias 12 de diciembre, Cuatro Milpas, México y Gobernadores. Más aguas abajo próximas a los meandros abandonados del RM el Fraccionamiento las Aves, la Ave. Independencia, el Fracc. Juventud, y Simancas, El Capomo y Flores Muños Gilberto, Tierra y Libertad, 18 de agosto y Lirios.

La subsidencia de estos suelos por la sobreexplotación del acuífero con evidencias de 7 cm/año (Herrera-León et al., 2018), hace que el problema se agrava progresivamente y que se tengan que proponer alternativas para el desfogue de

estos escurrimientos. Una propuesta es que se construya un interceptor pluvial a lo largo de la margen izquierda del RM hasta encontrar una cota menor, que permita fluir esta agua por gravedad. La elevación adecuada para su desfogue al RM estaría ubicada a la altura del puente Querétaro, lo que implicaría una conducción de aproximadamente 8 km, que resulta muy costoso.

Inundaciones en la zona del volcán Tepic. Por su parte la margen derecha del RM en general tiene una cota mucho más elevada por estar flanqueada por el cerro de la Cruz en el noreste, el borde del cráter Tepic dando lugar a un gradiente de altura que desciende progresivamente hasta el cauce del RM. Sin embargo, el crecimiento de la mancha urbana dentro del cráter ha provocado que la evacuación de los escurrimientos dentro del cráter hacia el RM tenga que realizarse a través de una bóveda-túnel que a medida que aumenta la población y las zonas urbanizadas dentro del cráter incrementa el caudal.

Los principales problemas se presentan en la Col. Valle de la Cruz en donde está ubicada la canalización del agua a cielo abierto para desfogar hacia el RM. Adicionalmente y de forma bastante localizada se presentan inundaciones en la zona de la Cantera particularmente en la Col. Villas del Roble, aunque esta zona cuenta con un sistema de canales a cielo abierto drena el agua de lluvia hacia el río Mololoa.

El incremento de las zonas inundables con la ocurrencia de precipitaciones con progresivamente menores intensidades ha sido provocado, por un lado, por el crecimiento poblacional descontrolado y la creciente urbanización de zonas de amortiguamiento, o bien, de infiltración, acelerando el régimen de escurrimiento y con ello aumentando el caudal pico que tienen que conducir los sistemas de drenaje. Por otro lado, la subsidencia del terreno producto de la sobreexplotación del manto acuífero ha hecho que los terrenos con cotas más bajas (las llanuras de inundación) dentro de la ciudad sean más susceptibles a ser inundadas por estos eventos tormentosos.

Lo anterior da como resultado que los sistemas de drenaje no sean suficientes y que su funcionamiento deje de ser óptimo en pocos años. Por lo que

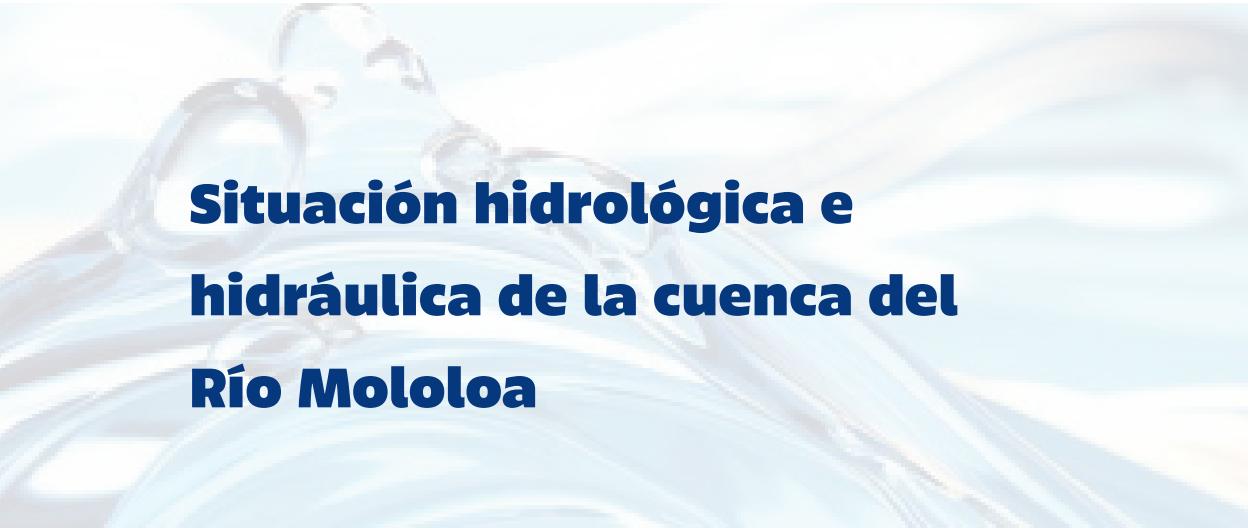
es preciso proponer políticas de uso de suelo (zonas de recarga, infiltración y contención) y urbanización más acorde con la región y particularmente con las llanuras de inundación. Al ser el RM el principal y único escurrimiento que permite desfogar el agua pluvial de la ciudad es preciso contar con un programa de mantenimiento anual que impida la acumulación de sedimentos con el consecuente azolve, la obstrucción de la plantilla del canal y sus taludes con vegetación arbórea y la modernización de los puentes para reducir la formación de remansos que elevan el espejo de agua y provocan inundaciones contiguas al cauce. El diseño y construcción de sistemas de infiltración vertical en los actuales zanjones podría restituir, en parte, su funcionamiento original y traería consigo la recarga al acuífero que sufre una sobreexplotación para abastecer a la ciudad de Tepic.

Referencias

- ASA. (2020). *Conformación de Área de Seguridad de Extremo de Pista (RESA) en la Cabecera o2 del Aeropuerto de Tepic, Nayarit*. Ciudad de México: Obtenido de <https://appsi.semarnat.gob.mx:8443/dgiraDocs/documentos/nay/estudios/2019/18NA2019V0021.pdf>.
- AVALOS-JIMÉNEZ, A., VILCHEZ, F. F., GONZÁLEZ, O. N., & FLORES, S. M. M. (2018). Analysis of the land use and cover changes in the metropolitan area of Tepic-Xalisco (1973–2015) through landsat images. *Sustainability*, 10(6), 1860.
- BEAS-MEDINA, M. G., LÓPEZ-SOLIS, J., RENTERÍA-JARDÓN, M. A., & RAMÍREZ-CORDERO, J. M. (2020). Evaluación de la vulnerabilidad de la población por asentamientos en zanjones de Tepic, Nayarit, México. *EDUCATECONCIENCIA*, 28(29), 316-331.

-
- CONAGUA. (2015). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero alle de Matatipac (1804), Estado de Nayarit. Diario Oficial de la Federación, 20 de abril del 2015: Comisión Nacional del Agua. Subgerencia General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos.
- CONTRERAS, J. M. (2003). Textiles y actividad empresarial en el Territorio de Tepic (siglo XIX). *Antropología: boletín oficial INAH*(72), 86-92.
- COVARRUBIAS-DORADO, I. (2016). *Evolución del crecimiento de la zona metropolitana Tepic-Xalisco, Nayarit; periodo 1970-2010*. (Maestría), Universidad Autónoma de Nayarit.
- DEMOCRACIA, L. (1901). El saneamiento de la ciudad de Tepic, *La Democracia*.
- DIARIO EL PACÍFICO. (1976). LAS OBRAS DEL RÍO MOLOOA EVITARÁN INUNDACIONES: RH, *Diario el Pacífico*. Retrieved from <https://hemerotecanayarit.com/index.php/hace-40-anos/759-las-obras-del-rio-mololoa-evitaran-inundaciones-rh>
- DOF. (1975). *DECRETO por el que se reserva en favor del Municipio de Tepic, Nay., una superficie aproximada de 200 hectáreas, que será ganada con las obras de rectificación y encauzamiento del Río Tepic o Mololoa*. México, D.F.: 10/12/1975.
- EL OBSERVADOR DE NAYARIT. (1976). Iniciaron las obras de rectificación en el Mololoa, *El Observador de Nayarit*. Retrieved from <https://hemeroteca-nayarit.com/index.php/hace-40-anos/693-inicieron-las-obras-de-rectificacion-en-el-mololoa>
- GONZÁLEZ, S. L. S. (2019). *Desigualdades socioterritoriales de la zona metropolitana Tepic*. (Doctorado), Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco.
- HERRERA-LEÓN, W. H., PACHECO-MARTÍNEZ, J., HERNÁNDEZ-MARÍN, M., PADILLA-CENICEROS, R., & PEREZ-REA, M. D. L. L. (2018). Land subsidence and its effects on the urban area of Tepic City, México. *WIT Transactions on The Built Environment*, 179, 369-380.

- IMPLAN-TEPIC. (2000). *Plan de Desarrollo Urbano de Tepic 2000-2020*. Tepic, Nayarit: Municipio de Tepic Obtenido de https://implantepic.gob.mx/planes_programas/PDU2000-2020.pdf.
- LA DEMOCRACIA. (1901, 2 de octubre de 1901). Saneamiento de Tepic, *La Democracia*. Retrieved from <https://hndm.iib.unam.mx/consulta/resultados/visualizar/558a331f7d1ed64f16908683?resultado=19&tipo=página&intPagina=2&palabras=paludismo>
- LUNA, J. P., & JARQUÍN, A. M. I. (2012). *El río Mololoa: Motor de la industria tepiqueña en el siglo XIX*.
- MORÁN, C. A. (1988). *La industria eléctrica en México y su desarrollo en el estado de Nayarit*. Tesis. (Licenciatura), Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit.
- NAVARRETE, L. (2020). *El río Mololoa: la construcción polisémica del paisaje fluvial urbano en Tepic, Nayarit*. (Doctor), Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit.
- POE. (1891). *Condiciones hidrográficas del territorio de Tepic*. Tepic, Nayarit: Obtenido de <https://hndm.iib.unam.mx/consulta/resultados/visualizar/558a36ae7d1ed64f16cc1228?resultado=1&tipo=página&intPagina=3&palabras=mololoa>.
- POE. (1976). *Autorización al Ejecutivo del Estado para gestionar y contratar con el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos S.A. un crédito para la rectificación del cauce del Río Mololoa*. Tepic, Nayarit: Periódico Oficial del Estado.
- SEDATU. (2014). *Atlas de Riesgos del Municipio de Tepic, Nayarit*. Tepic, Nayarit: Secretaría de Desarrollo Agrario territorial y Urbano.



Situación hidrológica e hidráulica de la cuenca del Río Mololoa

Héctor Iván Molina Saldívar¹ y Marco Romario Valenzuela Sarabia²

En este capítulo se describe la situación hidrológica de la cuenca del Río Mololoa (RM) identificando las principales subcuenca que la conforman, los escurrimientos que se integran al RM principalmente en su paso por la ciudad de Tepic con el objeto de determinar el caudal que discurre por su cauce. Se calibra el modelo de precipitación-escurrimiento estimado con las mediciones hechas en la estación hidrométrica Mololoa para realizar una modelación hidráulica bajo esos caudales e identificar las zonas en las que se producirían

¹ Investigador Asociado del Proyecto Plan de manejo integral hidrológico y de saneamiento en la cuenca del río mololoa en Tepic, Nayarit: escenarios urbano-ambientales sensibles al agua. Fondo Mixto CONACYT - Gobierno del Estado de Nayarit. Convocatoria NAY-2019-01. Correo electrónico: hector.molina@uabc.edu.mx

² Estudiante de Maestría del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería del Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Correo electrónico: romario.valenzuela@uabc.edu.mx

inundaciones dentro de la ciudad. A su vez, se presentan los caudales medidos y estimados a partir de mediciones de elevación del nivel del agua en 7 estaciones de aforo, que permiten determinar las forma en que se modifica el volumen escurrido y su caudal con el ingreso de agua del sistema de interceptores y canales pluviales dentro de la ciudad de Tepic. El conocimiento de la tasa de incremento del caudal dentro del cauce a medida que aumenta la urbanización de la ciudad y sus sistemas de drenaje pluvial en cada tramo del RM permitirá reducirla impulsando acciones integrales que reduzcan el riesgo por inundaciones permitiendo el funcionamiento natural de las cuencas hidrológicas.

1. La hidrología de la cuenca del Río Mololoa

Fisiográficamente la subcuenca del RM se encuentra dentro del Eje Neovolcánico, el cual está constituido por una franja volcánica del Cenozoico Superior que cruza transversalmente la república mexicana desde el Océano Pacífico hasta el Golfo de México y se forma por una gran variedad de rocas volcánicas las cuales fueron emitidas a través de un gran número de aparatos volcánicos (INEGI, 1984, p. 1). Las rocas que constituyen la cuenca son diversas, se tiene presencia de basaltos (QB), aluvión (Qal), andesita (QptA) pumicita (Qpu) del periodo cuaternario y basaltos (TmplB), andesitas (TplA) y toba riolítica-riolita (TmplTR-R) del periodo terciario (SGM, 1998, p. 1).

Superficialmente, los porcentajes de cobertura de los diferentes tipos de suelos, de acuerdo a la cobertura de suelo del INEGI (2013), que integran la subcuenca del RM, son los siguientes: Luvisol (44.05 %), Umbrisol (10.88 %), Andosol (9.93 %), Regosol (6.96 %), Gleysol (6.14 %), Leptosol (5.27 %), Cambisol (3.83 %), Phaeozem (2.64 %) y suelos no identificados debido a los asentamientos urbanos (10.23 %).

En los tipos de suelo anteriormente mencionados, se pueden identificar, la predominancia de suelos con un potencial de escurrimiento moderado, con tasas de infiltración de 3.8 a 7.62 mm/h; y con un potencial de escurrimiento lento, con tasas de infiltración de 1.27 a 3.81 mm/h, respectivamente (INEGI, 2004).

En cuanto al clima se refiere, se presenta un régimen climático cálido (SPP, 1981, pp. 15-17), con una temperatura media anual de 22 °C, a su vez estos climas cálidos son subhúmedos cuyo régimen térmico más caluroso se registra en el mes de agosto con un rango de temperatura que va de 22 a 26 °C y el mes más frío es febrero con temperaturas de 21 a 22 °C. La precipitación tiene su máxima incidencia durante el mes de septiembre con valores que llegan a los 400 mm, con una lluvia media anual que es mayor a los 1,000 mm (SEDATU, 2014, p. 28).

La hidrografía de la subcuenca del RM se encuentra dentro de la Región Hidrológica Lerma-Santiago (RH12) una de las regiones más importantes del país, cuya corriente principal llega a su término en el Océano Pacífico en las costas de Nayarit como el río Santiago, el cual actúa como separación entre las regiones hidrológicas RH 11 y la RH 13 (SPP, 1981, p. 25). Dentro de la subcuenca del RM, una subcuenca exorreica la cual tiene una superficie total de 449.62 km², se lograron identificar 18 microcuencas cuya distribución geográfica y áreas se muestran en la Figura 1 y en la Tabla 1, respectivamente. Los escurrimientos de las microcuencas drenan al cauce principal del RM, el cual tiene una longitud de 81.01 km con una pendiente promedio de 0.002 m/m, el flujo superficial se dirige de suroeste a norte.

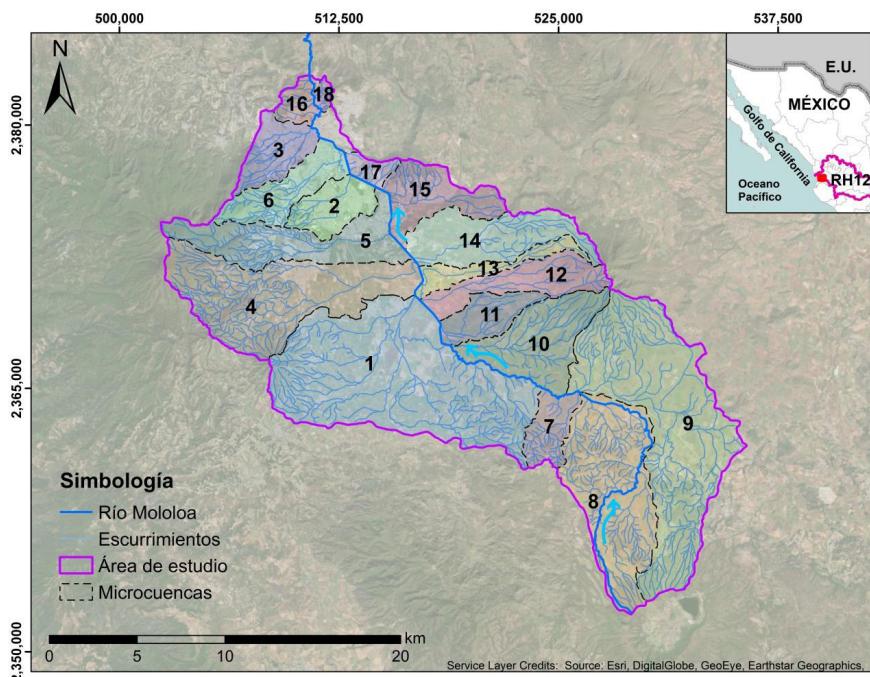


Figura 1. Microcuencas que comprenden la subcuenca del RM. Elaboración propia con datos consultados de SIATL (INEGI, 2005).

Áreas de las microcuencas que comprenden la subcuenca del RM.

Microcuenca	Área total (km ²)	Microcuenca	Área total (km ²)	Microcuenca	Área total (km ²)
1	86.88	7	9.31	13	8.01
2	11.59	8	45.40	14	24.18
3	12.19	9	76.09	15	16.77
4	50.26	10	25.16	16	4.69
5	27.89	11	10.58	17	3.62
6	15.12	12	17.10	18	1.46

Fuente. Elaboración propia.

Con la finalidad de obtener el caudal máximo de escurrimiento para diversos períodos de retorno en la subcuenca del RM se analizaron la aplicabilidad de diversas metodologías. Existen diferentes métodos indirectos para obtener el caudal máximo que se espera que llegue al punto de interés de una cuenca, los cuales pueden calcularse una vez que se han obtenido datos diversos de la cuenca como lo son la altura de la precipitación de diseño para los diferentes períodos de retorno, las características fisiográficas y los tiempos de concentración. Estos métodos indirectos se vuelven una opción cuando no se cuenta con mediciones hidrométricas en los sitios de interés, sin embargo, para el caso del RM se cuenta con una estación hidrométrica, la cual facilitó la determinación de los caudales de aportación de cada una de las microcuenca.

Dicha estación hidrométrica es operada por CONAGUA desde 1959, cuya información fue obtenida a través de los datos publicados por el Banco Nacional de Aguas Superficiales (BANDAS) y de un estudio previo realizado por el Instituto Politécnico Nacional (IPN) (Ballinas-Zavaleta, 2014, pp. 1-113). Esta estación, denominada Mololoa, se ubica en las coordenadas UTM 2,377,976.362 Norte y 512,928.971 Oeste (sistema de coordenadas WGS 1984, UTM, Zona 13 norte, en metros) dentro de la ciudad de Tepic, en la Avenida México Norte, en el puente sobre el RM y registra lo que se capta de un área tributaria de 443 km². A 150 m aguas arriba de la estación se presenta un tramo de cauce recto con una longitud de 150 m, los taludes en esta sección se encuentran formados por tierra y vegetación, cuya plantilla está conformada por piedra rodada. En la sección de aforo se tiene una geometría de tipo trapezoidal, con los mismos materiales del tramo aguas arriba, cuenta con un puente de 7.2 m de ancho y se encuentra definida por los estribos de mampostería del puente con un claro de 10.5 m, además cuenta con un limnígrafo localizado en el estribo de la margen derecha (Ballinas-Zavaleta, 2014, p. 21).

La estimación de los gastos para los diferentes períodos de retorno (PR) se realizó mediante un análisis estadístico que consistió en ajustar a los registros recopilados en la estación hidrométrica Mololoa durante el período de 1958

hasta 2012. Las funciones de densidad de probabilidad (fdp) utilizadas fueron: Normal, Lognormal, Gumbel, Exponencial, Gamma y Doble Gumbel. Para evaluar la bondad del ajuste de cada una de las fdp se utilizó como criterio el error cuadrático medio (r.m.s.). Los caudales obtenidos de cada una de las fdp para diferentes períodos de retorno y r.m.s. se muestran en la Tabla 2.

Resultados del análisis probabilístico de caudales para la estación hidrométrica Mololoa para los PR de 5, 10, 50, 100, 500 y 1,000 años.

Estación hidrométrica Mololoa (Caudal m ³ /s)						
PR (años)	1	2	3	4	5	6
5	36.41	35.47	35.60	34.25	36.3	39.36
10	40.44	40.64	41.20	40.53	40.39	43.03
50	47.53	51.58	53.50	55.11	47.70	51.92
100	50.03	56.11	58.71	61.39	50.31	56.59
500	55.09	66.52	70.73	75.98	55.64	68.55
1000	57.03	71.01	75.90	82.26	57.71	73.80
r.m.s.	1.06	2.01	2.1	3.62	1.14	2.24

Distribuciones de probabilidad:	
Normal	1
Lognormal	2
Gumbel	3
Exponencial	4
Gamma	5
Doble Gumbel	6

Fuente. Elaboración propia.

El tiempo de concentración (Tc) se define como el tiempo máximo que necesita una gota de agua para llegar desde el punto más alejado de una cuenca hasta el punto de salida de ésta. El Tc está en función de la geometría de la cuenca, la capacidad de drenaje, la cobertura vegetal, entre otros parámetros y es estimado mediante aproximaciones empíricas. Para cada microcuenca se determinaron los Tc con las aproximaciones de Rowe, Kirpich y scs (Chow, Maidment, & Mays, 1994, pp. 513-514), y se seleccionó el Tc máximo. La estimación del porcentaje de aporte de cada microcuenca al RM, se realizó de acuerdo con los Tc.

Una vez obtenidos los porcentajes de aporte de cada una de las microcuenca y con base en el análisis estadístico de los caudales reportados en la estación hidrométrica Mololoa, se obtiene los caudales que aportan cada una de las microcuenca para los diferentes períodos de retorno mediante el porcentaje de aporte de cada microcuenca aguas arriba y aguas abajo de la estación Mololoa (Tabla 3). Adicionalmente en la Tabla 3 se indica la ubicación de las microcuenca respecto a la estación hidrométrica Mololoa, identificando el kilometraje del cauce del RM en el que se integra la aportación de cada microcuenca, así como la margen en la que se localizan.

Caudales de máximos (m³/s) para diferentes períodos de retorno

Micro-cuenca	Kilometraje desde la entrada a la cuenca RM	Margen	Caudales (m ³ /s) para los diferentes PR (Años)					
			5	10	50	100	500	1,000
aguas arriba de la estación hidrométrica Mololoa								
7	18.7	Derecha	1.62	1.8	2.11	2.23	2.45	2.54
8	18.77	Izquierda	3.69	4.1	4.81	5.07	5.58	5.78
9	18.82	Derecha	4.66	5.18	6.09	6.41	7.06	7.31
10	28.3	Derecha	2.43	2.69	3.17	3.33	3.67	3.8
11	30.03	Derecha	1.87	2.07	2.44	2.56	2.82	2.92
12	31.74	Derecha	2.29	2.54	2.98	3.14	3.46	3.58

1	32.16	Izquierda	3.69	4.09	4.81	5.06	5.58	5.77
13	33.54	Derecha	2.31	2.56	3.01	3.17	3.49	3.62
4	34.34	Izquierda	3.48	3.87	4.55	4.78	5.27	5.45
14	34.54	Derecha	2.65	2.94	3.46	3.64	4.01	4.15
5	36.58	Izquierda	3.13	3.48	4.09	4.3	4.74	4.91
15	38.78	Derecha	2.43	2.69	3.17	3.33	3.67	3.8
2	41.23	Izquierda	1.66	1.84	2.16	2.28	2.51	2.6
17	42.48	Derecha	0.52	0.57	0.67	0.71	0.78	0.81
Totales			36.43	40.44	47.53	50.03	55.09	57.03
aguas abajo de la estación hidrométrica Mololoa								
6	42.86	Izquierda	2.1	2.33	2.74	2.89	3.18	3.29
3	45.14	Izquierda	1.48	1.64	1.93	2.03	2.24	2.31
18	47.57	Derecha	0.42	0.46	0.55	0.57	0.63	0.66
16	48.85	Izquierda	0.97	1.08	1.27	1.33	1.47	1.52
Totales			4.97	5.51	6.48	6.82	7.51	7.78

Fuente. Elaboración propia.

Monitoreo de flujo superficial del río Mololoa

Es bien conocido que las mediciones de los escurrimientos en un río proporciona información sobre la variabilidad de la cantidad de agua que pasa por un determinado punto en tiempo y espacio, y que su conocimiento es imprescindible para plantear y diseñar proyectos que estén relacionados con ese cuerpo de agua (Rantz, 1982, p. 2), tal es el caso de puentes, bordos de contención, encauzamientos, estructuras de control hidráulico, entre otros. En muchas ocasiones, no se cuenta con mediciones directas del flujo y se procede a hacer estimaciones utilizando métodos indirectos como el referido en el primer apartado analizando la relación precipitación-escurrimiento.

Como se mencionó anteriormente, el RM cuenta con una estación hidrométrica que registra las variaciones del nivel del espejo del agua, con las cuales se estima el gasto que escurre por ese punto (Conagua, 2013) y cuyos valores permitieron calibrar el modelo precipitación-escurrimiento. Todos los ríos son muy dinámicos, sin embargo, al ser un río que se encuentra dentro de la ciudad de Tepic, el comportamiento hidráulico de éste se ve afectado, no solo por los eventos de variabilidad climática que están produciendo precipitaciones más intensas y tormentosas, sino por el incremento poblacional y el desarrollo urbano-rural que está cambiando el uso de suelo y reduciendo las superficies de humedales. Todo ello, implica incrementos del caudal natural con la aportación de la red de drenaje y del alcantarillado pluvial.

Adicionalmente, se han llevado a cabo diversas actuaciones sobre el mismo cauce que han producido cambios en los regímenes de flujo en los diferentes puntos de aportación a la cuenca y provocado inundaciones en diferentes puntos de la ciudad. Estas actuaciones van desde la más intensa en la que se modificó el trazo del cauce, en los años 1976, mediante su canalización y rectificación; el transporte de sedimentos que ha producido azolve en algunos tramos con las subsecuentes obras de desazolve; el revestimiento de taludes y fondo del cauce; la construcción de puentes que en algunos casos ahorcan el flujo produciendo remansos durante flujos extremos.

Por la anterior, y con la finalidad de contar información de los cambios del régimen hidrológico del RM y sus principales afluentes dentro de la ciudad se construyeron siete estaciones hidrométricas en puntos estratégicos del cauce.

La ubicación de las estaciones hidrométricas fue seleccionada siguiendo los lineamientos para el establecimiento de estaciones hidrométricas determinados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) (Rantz, 1982, pp. 4-9) (Figura 2). Además, las estaciones hidrométricas se seleccionaron estratégicamente para monitorear la integración de flujo de las diversas subcuenca de la cuenca del RM al cauce principal. En cada estación hidrométrica se realizaron mediciones del nivel del tirante de agua (profun-

didad del agua a lo largo de una sección transversal) y mediciones de caudal (con el uso del RiverSurveyor).

La estación hidrométrica NAY01 se eligió para analizar la respuesta del RM a los escurrimientos de las subcuencas ubicadas en la zona sur de la cuenca provenientes de cuencas con uso de suelo agrícola y forestal principalmente. Para registrar el aporte de agua proveniente de la zona de El Pantanal se definió la estación NAY02 que recibe escurrimientos provenientes de la vertiente sur del cerro San Juan y los cerros el Taray, el Italiano y el Testerazo. Para contabilizar los escurrimientos provenientes de la subcuenca Camichín por el suroeste y Río Seco por el oeste se contempló la estación NAY03. La estación NAY04 se determinó para medir los caudales provenientes del drenaje pluvial del canal El Sabino, los escurrimientos de la zona habitacional La Cantera y sus plantas de tratamiento de aguas residuales.

Con el objetivo de registrar los volúmenes de agua que provienen de los interceptores pluviales de la zona centro de la ciudad se estableció la estación NAY05 ubicada 200 m aguas debajo de la estación hidrométrica Mololoa administrada por la CONAGUA. Para medir los escurrimientos provenientes de la margen derecha del RM y del interceptor pluvial México Norte se estableció la estación NAY06. Por último, la estación NAY07 se ubicó en el sitio indicado en la Figura 2 para medir los escurrimientos provenientes del cañón Candelaria que drena agua de la zona de la Col. Francisco Villa y donde hasta el momento, se considera que el cauce del RM no provocará inundaciones en la zona urbana de Tepic porque aún cuenta con una amplia planicie de inundación.

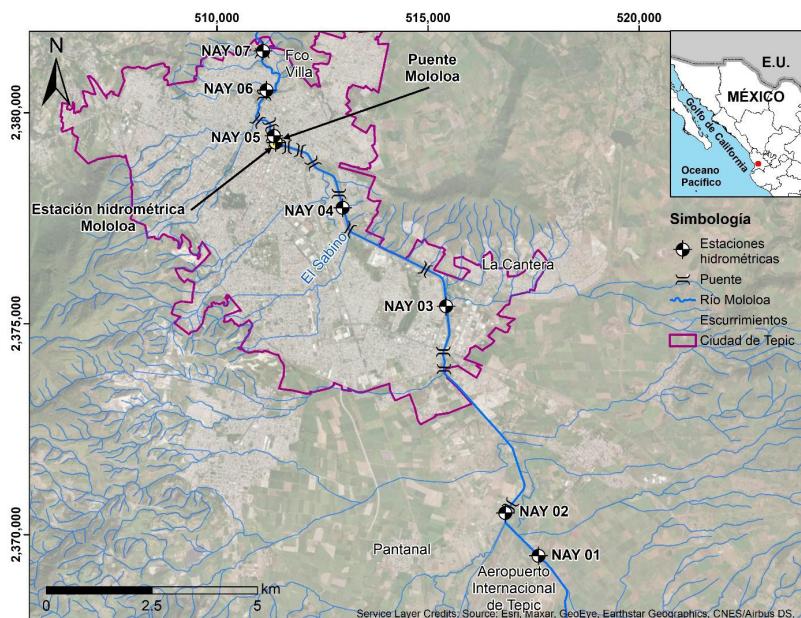


Figura 2. Ubicación geográfica de las estaciones hidrométricas en el cauce del RM.
Fuente. Elaboración propia.

Las estaciones hidrométricas fueron equipadas con un tubo de PVC de 5.08 cm (2 pulgadas) que enterrado llega hasta la base del cauce principal y sube por el talud hasta la terraza en donde es recibido en una alcantarilla protegida con tapa de acero. Este tubo es protegido con un filtro en su salida más proximal al lecho del río para impedir el ingreso de sedimentos y el azolve. Dentro de este tubo se instaló un transductor de presión con almacenamiento de datos, que colectó las variaciones tanto de la presión hidrostática (debido al cambio de nivel del agua del RM) más los cambios de presión barométrica (por cambios en la temperatura de la atmósfera) cada 30 minutos desde el 21 de agosto del 2020 hasta el 23 de agosto del 2021. La presión hidrostática que ejerce el nivel de agua sobre el sensor es transformada a metros de tirante de agua. Sin embargo, es preciso eliminar las variaciones de presión atmosférica, para lo cual

se instaló un transductor adicional fuera del nivel de agua para que registrara únicamente las variaciones barométricas de forma sincrónica y con ese registro eliminarlos de los transductores sumergidos. Este procesamiento de los datos registrados junto con correcciones por deriva del sensor y su referencia a un banco de nivel con elevación conocida permite obtener series de tiempo de elevaciones del nivel de agua del RM para cada una de las estaciones hidrométricas con referencia al nivel medio del mar, a intervalos de 30 minutos (Figura 3).

En dicha figura 3 se observa la época de estiaje, de octubre del 2020 a junio del 2021 con una línea muy lisa, en la que solo se presentan algunos eventos que elevan el espejo de agua provocado por precipitaciones esporádicas. En contraparte, durante la época de lluvias los registros en las estaciones hidrométricas muestran un aumento en la elevación del nivel de espejo de agua que se ven como picos desde el inicio del registro a mediados de agosto hasta principios de octubre para el año 2020 y desde mediados de junio hasta el final del registro a finales de agosto del 2021, abarcando un año hidrológico completo.

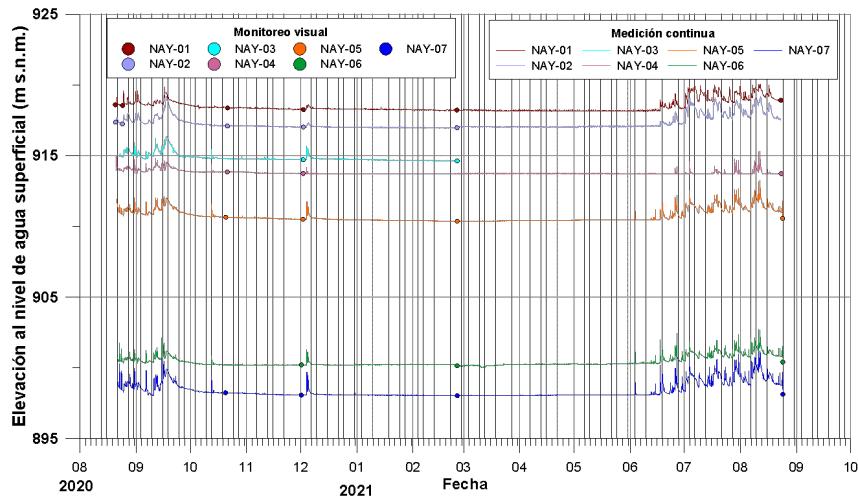


Figura 3. Elevación del nivel del espejo de agua en el RM para todas las estaciones hidrométricas. Los puntos indican mediciones manuales. Fuente. Elaboración propia.

De forma independiente, se llevaron a cabo mediciones periódicas del caudal en cada una de las estaciones hidrométricas utilizando un medidor de velocidades con un perfilador de corriente acústico Doppler (ADCP, por sus siglas en inglés) River Surveyor M9 fabricado por la compañía SonTek, el cual tiene una precisión de +/- 0.002 m/s. La recopilación de datos para el cálculo del caudal se lleva a cabo desplazando perpendicularmente el sensor sobre la superficie del agua utilizando una plataforma flotante (hidrobote) desde una margen hasta la otra, este equipo utiliza el método de la sección media para calcular el caudal promedio de cada estación hidrométrica (Figura 4).



Figura 4. Medición del caudal en la estación hidrométrica NAY05. La línea punteada blanca indica la trayectoria del sensor (hidrobote), la flecha blanca indica la dirección del sensor y la flecha azul la dirección del agua. **Fuente.** *Elaboración propia.*

Con base en los datos de caudal medidos en campo y las variaciones de los niveles del espejo de agua (Figura 3) en cada una de las estaciones se estableció una relación lineal caudal-elevación en cada sitio. Las ecuaciones obtenidas de las relaciones caudal-elevación de agua se utilizaron para obtener caudales continuos (hidrogramas continuos) con los datos de transductores automáticos

instalados en las estaciones hidrométricas presentados en la Figura 5. Para considerar una estación hidrométrica calibrada es preciso realizar mediciones en todo el rango de caudales que se presentan lo cual no fue posible realizar durante este trabajo ya que no se presentaron eventos de precipitación extremos, por lo que los resultados reportados para los caudales más intensos deben utilizarse con cautela.

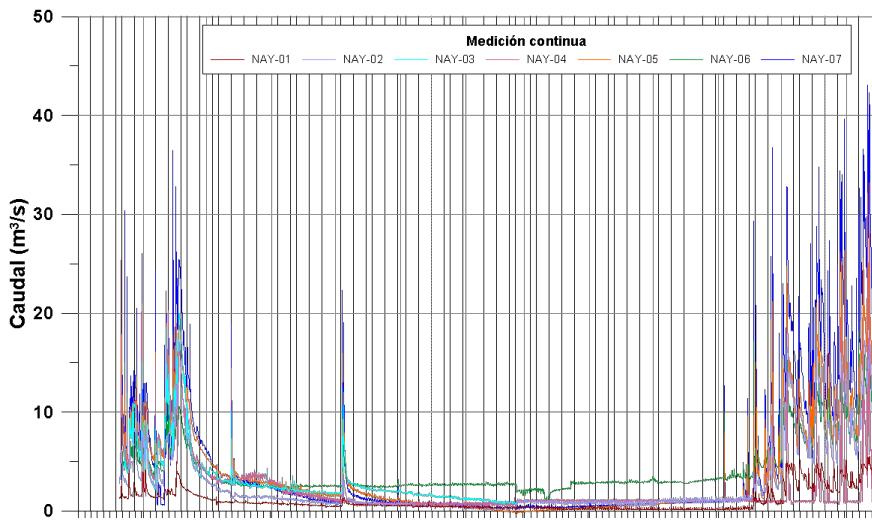


Figura 5. Caudales continuos en las estaciones hidrométricas del RM.

Fuente. Elaboración propia.

La figura 5 muestra la continuidad de los caudales a lo largo del año con los incrementos de caudal durante las épocas de lluvia y con caudales mínimos, provenientes del drenaje sanitario y descargas clandestinas de granjas de puercos y aguas residuales no tratadas. Sin embargo, la observación de solo algunos eventos de descarga durante 8 días permite identificar los efectos de los escorrentimientos pluviales desde cuencas rurales con amplia cobertura vegetal agrícola y forestal y desde el sistema de drenaje pluvial de la ciudad.

La Figura 6 muestra que la forma del hidrograma para las dos estaciones hidrométricas ubicadas aguas arriba de la demarcación de la ciudad con escurrimientos provenientes de cuencas agrícolas y forestales (NAYO1 y NAYO2) identifican el ingreso de los escurrimientos aumentando el caudal de forma suave y redondeada. La estación NAYO1 registra el mayor caudal durante la tormenta del 11 de agosto a las 22:30 hrs. con $6.18 \text{ m}^3/\text{s}$. Por su parte la estación NAYO2 registra $15.26 \text{ m}^3/\text{s}$ el día 12 a las 3:30 hrs. recibiendo los escurrimientos de la zona del Pantanal y la vertiente este de la sierra, el hidrograma también muestra una forma curvada con un incremento de $9 \text{ m}^3/\text{s}$.

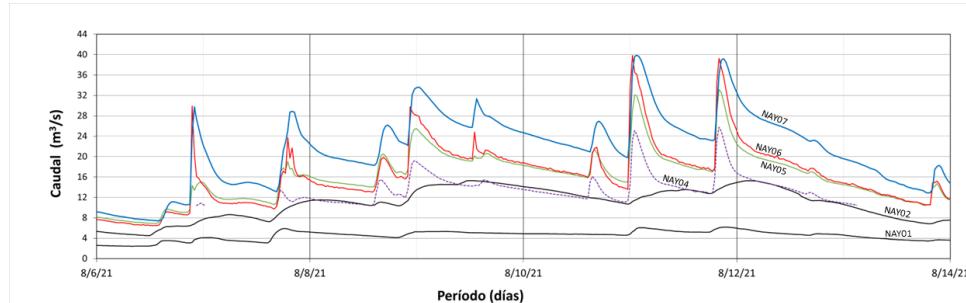


Figura 6. Caudales continuos en las estaciones hidrométricas del RM durante la mayor tormenta del período estudiado. Fuente. Elaboración propia.

Con el objeto de simplificar el análisis lo centraremos en el evento del 11-12 de agosto. Los picos se desplazan en el tiempo mostrando el avance de la onda desde el NAYO4 a con $25.8 \text{ m}^3/\text{s}$ a las 20:00 hrs hasta el NAYO7 con $39.2 \text{ m}^3/\text{s}$ a las 21:00 hrs. Los hidrogramas en todas estas estaciones inician en un momento específico aumentando drásticamente hasta alcanzar el pico que es claramente más grande a medida que avanza el agua por el cauce, indicando el ingreso de agua por los diferentes afluentes, aumentando de 25.8, a 30.9, a 39.2 hasta 39.2 m^3/s en el NAYO4, NAYO5, NAYO6 y NAYO7, respectivamente. El incremento del caudal indica la velocidad con la que ingresa el agua y su proveniencia de un sistema de conducción por canales o sistemas de drenaje pluvial de la ciudad.

Es importante anotar que el aumento de caudal de la estación NAY06 a la NAY07, ubicadas aguas abajo del puente El Jauja es prácticamente despreciable, sin embargo, el aumento del caudal del NAY02 al NAY04 con el ingreso del agua del canal el Sabino es de 10 m³/s. Otros casi 10 m³/s se integran entre la estación hidrométrica NAY05 y NAY06 ubicados aguas abajo del puente México. En este tramo del NAY02 al NAY06 se integra el drenaje pluvial proveniente de la porción oeste de la ciudad.

Análisis hidráulico del Río Mololoa en la ciudad

Como se comentó antes, tanto el aporte de agua al RM a su paso por la ciudad de Tepic como la misma geometría del RM ha sufrido y continúa sufriendo cambios, de tal forma que la respuesta del RM a estos cambios ha sido muy dinámica a lo largo de los últimos años, quizá iniciando a finales de los años 70as del siglo pasado con su rectificación y canalización.

Por estas razones se hace imperiosa la necesidad de estudiar la respuesta hidráulica del RM al menos en su tránsito por la ciudad, para identificar las zonas con riesgos de inundación. Es común hacer estas simulaciones considerando los caudales que se espera conduzca el RM a partir de los criterios estadísticos que establecen períodos de ocurrencia (períodos de retorno) obtenidos ya de mediciones directas o de estimaciones indirectas. Sin embargo, la certidumbre de las simulaciones de flujo está relacionada de forma directa con la certidumbre de los datos de entrada, de los insumos del modelo. Con el afán de obtener resultados más confiables el análisis hidráulico del RM se realizó actualizando algunos de los insumos más importantes, como son la geometría del canal, la estimación de los valores del coeficiente de rugosidad y los caudales de entrada al sistema.

La ciudad de Tepic cuenta con localidades con una susceptibilidad por inundaciones muy alta (SEDATU, 2014). En 2014, se publicó el Atlas de Riesgos para el Municipio de Tepic, donde el modelo hidráulico mostró zonas con desbordamientos en el RM, lo cual representa un peligro para la seguridad de la

población y bienes materiales, algunas de las zonas con mayor afectación las zonas aledañas al dren pluvial El Sabino, la zona de maniobras de ferrocarril, y aguas arriba y aguas abajo del puente Mololoa. En este trabajo se realizó un análisis hidráulico actualizado del RM.

Existen diversas plataformas y programas de cómputo para realizar la simulación hidráulica de cauces naturales o artificiales, en este trabajo se utilizó el programa HEC-RAS, desarrollado por el Cuerpo de ingenieros del Ejército de Estados Unidos (*U. S. Army Corps of Engineers*), por diversas razones; permite hacer la simulación considerando cambios de flujo en el tiempo; puede incluirse el flujo en dos dimensiones; es posible incorporar las estructuras hidráulicas que posee el RM, y; es un código de uso libre y amplio uso.

En estas simulaciones se consideran algunos aspectos que no habían sido incorporados en simulaciones anteriores. Se considera flujo bidimensional lo que implica ampliar el dominio de la simulación hacia afuera del cauce principal del RM incluyendo las zonas que podrían estar sujetas a inundación bajo el efecto de flujos extraordinarios. Se incluye un modelo geométrico del cauce producido a partir de percepción remota y levantamiento topobatimétrico en las condiciones actuales del cauce. Adicionalmente, se incluye un mapa de rugosidades obtenido de la inspección visual del cauce durante el levantamiento topográfico, que refleja las condiciones de la vegetación dentro de los taludes y lecho del río, la presencia de azolves, recubrimiento de taludes con enrocamiento, entre otras.

Una descripción breve del proceso de simulación hidráulica realizado incluye los siguientes pasos:

1. *Definir el área de estudio.* Longitudinalmente, el modelo hidráulico del RM comprende su cauce, el cual tiene una longitud de aproximadamente de 16.7 km, comprendidos desde las cercanías del Aeropuerto Internacional de Tepic en la estación hidrométrica NAY01 hasta el puente del Camino Viejo a Jauja en las cercanías de la estación NAY07. Lateralmente, se

incluyeron las áreas susceptibles a inundación fuera de las márgenes del río. Se consideró una mayor superficie en la margen derecha del RM por la presencia de la ciudad y por tener cotas más bajas que la margen izquierda. El área de estudio de este modelo tiene una extensión de 29 km².

2. *Construcción del modelo geométrico.* El modelo geométrico representa la configuración topográfica del sistema, la geometría del canal por donde va a fluir el agua, incluyendo, en este caso las superficies susceptibles de inundación.

Uno de los aspectos fundamentales en la construcción de un modelo hidráulico es la topografía del área de estudio, por lo que contar con un MDE es fundamental para la representación de la geometría de éste. El MDE para el modelo hidráulico del RM se creó utilizando información de INEGI, así como trabajos de topografía y topobatimetría realizados durante campañas de trabajo previos, teniendo como enfoque, las zonas donde anteriormente se han presentado inundaciones. La información obtenida de las dos fuentes fue procesada utilizando un programa de sistemas de información geográfica, creando un archivo del tipo Ráster, con una resolución de 1 X 1 m (Figura 7).

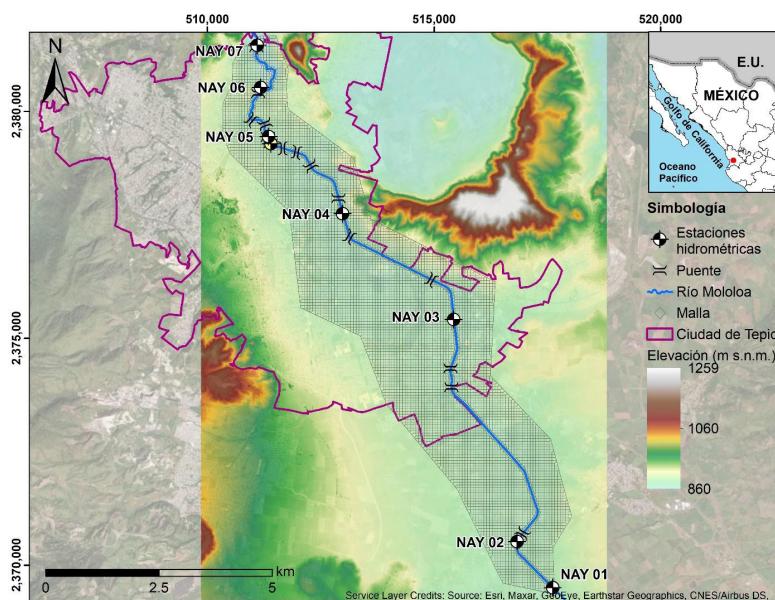


Figura 7. Área de interés del modelo hidráulico del RM. Fuente. Elaboración propia.

El cauce del RM dentro del área de estudio tiene una elevación de 918 m al inicio del modelo, y una elevación final de 897.5 m al final del modelo, teniendo una diferencia de elevación de 20.9 m, sin embargo, las pendientes dentro del cauce no se distribuyen de manera uniforme, existen cambios abruptos de elevación en tramos cortos.

3. *Construcción de la malla del modelo.* El esquema de solución numérica del sistema de ecuaciones de flujo requiere la construcción de una malla formada por polígonos en los que se va a obtener una cota de elevación del agua y la velocidad del flujo. Se acostumbra a utilizar polígonos con grandes superficies en las zonas en las que no es importante conocer estos parámetros y muy pequeños en las zonas con un interés particular. La malla fue creada con celdas de 60 X 60 m, sin embargo, en la zona del

cauce del RM se realizó un refinamiento de estas celdas para optimizar el proceso de modelización, teniendo celdas en el cauce de 15 X 15 m. Esta malla se presenta en la Figura 7.

4. *Mapa de coeficientes de rugosidad.* Cada polígono debe contener un valor del coeficiente de rugosidad que determina la oposición que pone las paredes del canal al paso del flujo. Es usual obtener este valor de catálogos publicados en la literatura y variarlos ligeramente a lo largo de la calibración del modelo.

Una de las variables que más influye en el movimiento del agua en canales abiertos es la rugosidad, ya que produce pérdidas de energía en el fluido. Esta variable depende del tipo de material del cauce del río, de la cantidad vegetación que existe en él y la existencia de meandros. Los coeficientes de rugosidad (n de Manning) representan la resistencia del movimiento en los cauces y llanuras de inundación (Chow, 1994, p. 96). Para el modelo del RM los coeficientes de rugosidad se determinaron de acuerdo con el uso de suelo y vegetación de las cartas geográficas de INEGI y el reconocimiento visual realizado durante el levantamiento topobatimétrico, asignando valores de acuerdo con sus características, estos coeficientes van desde los 0.013 hasta 0.07.

5. *Estructuras hidráulicas.* Con el objetivo de presentar adecuadamente las estructuras hidráulicas que pueden generar una obstrucción o modificación en el patrón de velocidad y escurrimiento del caudal en el cauce principal se obtuvo la geometría y ubicación geográfica de los puentes localizados dentro del cauce de la zona de estudio mediante mediciones en campo. En total se caracterizaron y localizaron 15 puentes importantes para el escurrimiento de flujos dentro del cauce.
6. *Hidrogramas.* En los casos en que se consideran variaciones del flujo en el tiempo de simulación (estado transitorio) es preciso elaborar los hidrogramas que indiquen de qué forma va a ser esa variación en cada

entrada y salida del sistema a modelar. En la construcción del modelo hidráulico se incorporaron las entradas de agua de los escurrimientos secundarios determinados en el estudio hidrológico. Para realizar la simulación en estado transitorio se utilizaron los hidrogramas unitarios derivados de los caudales obtenidos en el estudio hidrológico para cada escurrimiento de aporte y para cada tiempo de retorno. En el estudio hidrológico se identificaron 12 descargas al RM, para las cuales se realizaron los hidrogramas unitarios para realizar la simulación para los períodos de retorno de 5, 10 y 50 años.

7. *Establecimiento de condiciones de frontera.* La solución numérica de las ecuaciones de flujo requiere contar con valores de flujo, elevación de agua o pendiente en las fronteras del modelo que deben ser asignadas para iniciar la modelación. El modelo del RM considera que en la frontera aguas arriba se considera el hidrograma propuesto para cada uno de los períodos de retorno, de igual forma para las entradas de agua a lo largo del trazo del canal y para la frontera aguas abajo se consideró la condición profundidad normal (normal depth),
8. *Calibración.* Consiste en modificar algunos de los parámetros para lograr que los resultados obtenidos de la modelación sean lo más parecidos a los que se midieron en campo. El grado de ajuste entre ambos debe establecerse en función de la confiabilidad de los datos de campo, la geometría, la rugosidad, las estructuras hidráulicas y las condiciones de frontera. En este caso, el modelo hidráulico del RM fue calibrado modificando las características geométricas y las relacionadas con el comportamiento del flujo del agua en el cauce (rugosidad), este proceso finaliza cuando los tirantes de agua obtenidos en la simulación fuesen similares a los observados.

Una vez calibrado el modelo, se utilizan los hidrogramas obtenidos del estudio hidrológico para los períodos de retorno de 5, 10 y 50 años. En la Figura 8 se muestran las posibles zonas con riesgo de inundación para una tormenta con

un periodo de retorno de 50 años. Para el tramo Forum-Puente FFC sobresalen la inundación del humedal El Sabino adyacente al Centro Comercial Forum que como parte de los meandros del antiguo trazado del RM mantiene cotas muy bajas que son fácilmente inundables. De igual forma se observan zonas inundables correspondientes a los meandros abandonados de la zona más aguas abajo que además incluyen la colonia Tierra y Libertad. En el tramo Puente FFCC-El Punto se observa el remanso que provoca en puente México, así como la profundización que se observa entre el puente Sonora y El Jauja ocupando toda la extensión del cauce por el alta pendiente de este tramo. Más aguas abajo, se observa la llanura de inundación en ambos márgenes del cauce con inundaciones someras indicando la importancia de mantener estas zonas sin urbanizar como superficies inundables.

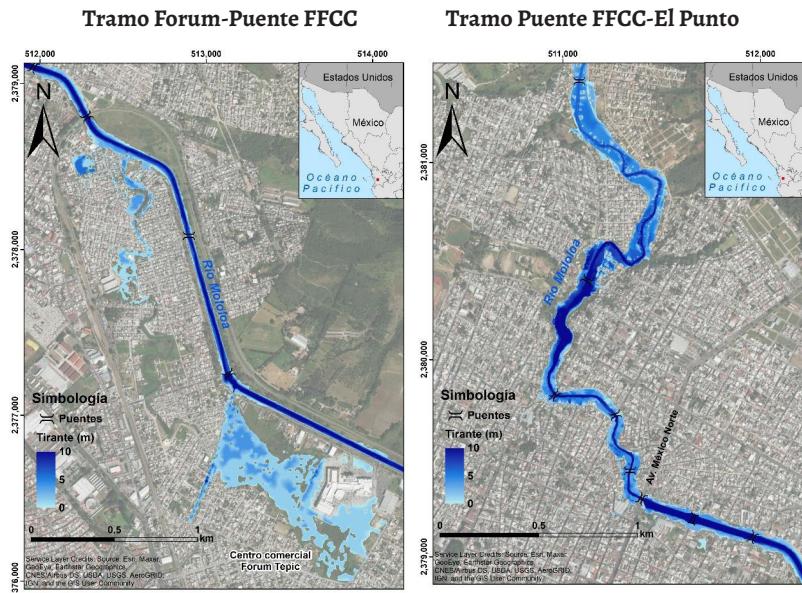


Figura 8. Resultados del modelo hidráulico para un periodo de retorno de 50 años.

Fuente. Elaboración propia.

La identificación de las zonas susceptibles a inundación con el modelado de la respuesta hidráulica es sin duda una excelente herramienta para evaluar los riesgos a los que están sometidos algunas zonas cercanas a los cauces, antes de que ocurran los eventos. Sin embargo, es preciso tener en cuenta que el alto dinamismo de estos sistemas naturales por, tanto fenómenos naturales como antropogénicos requieren mantener actualizados los insumos de entrada de los modelos, lo que implica que los resultados de un modelo con las características de hace algunos años no serán necesariamente adecuados con las condiciones de hoy.

Referencias

- ASA. (2020). *Conformación de Área de Seguridad de Extremo de Pista (RESA) en la Cabecera o2 del Aeropuerto de Tepic, Nayarit*. Ciudad de México: Obtenido de <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgiraDocs/documentos/nay/estudios/2019/18NA2019V0021.pdf>.
- AVALOS-JIMÉNEZ, A., VILCHEZ, F. F., GONZÁLEZ, O. N., & FLORES, S. M. M. (2018). Analysis of the land use and cover changes in the metropolitan area of Tepic-Xalisco (1973–2015) through landsat images. *Sustainability*, 10(6), 1860.
- BALLINAS-ZAVALETA, F. A. (2014). *Estudio Hidrológico para Análisis de Planicies de Inundación*. (Licenciatura), Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. Retrieved from https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/14753/1/TESIS_ESTUDIO_HIDROLOGICO_ESTUDIO_PLANICIES_INUNDACION.pdf
- BEAS-MEDINA, M. G., LÓPEZ-SOLIS, J., RENTERÍA-JARDÓN, M. A., & RAMÍREZ-CORDERO, J. M. (2020). Evaluación de la vulnerabilidad de la población por asentamientos en zanjones de Tepic, Nayarit, México. *EDUCATECONCIENCIA*, 28(29), 316-331.
- CHOW, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*: McGraw Hill.
- CHOW, V. T., MAIDMENT, D., & MAYS, L. (1994). *Hidrología aplicada* (McGraw-Hill Ed.).

- CONAGUA. (2013). *Estudio de Delimitación de la Zona Federal del Río Mololoa en una longitud de 20 km., Municipio de Tepic, Nayarit*. Tepic Nayarit: Informe Final Interno.
- CONAGUA. (2015). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero alle de Matatipac (1804), Estado de Nayarit. Diario Oficial de la Federación, 20 de abril del 2015: Comisión Nacional del Agua. Subgerencia General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos.
- CONTRERAS, J. M. (2003). Textiles y actividad empresarial en el Territorio de Tepic (siglo XIX). *Antropología: boletín oficial INAH*(72), 86-92.
- COVARRUBIAS-DORADO, I. (2016). *Evolución del crecimiento de la zona metropolitana Tepic-Xalisco, Nayarit; periodo 1970-2010*. (Maestría), Universidad Autónoma de Nayarit.
- DEMOCRACIA, L. (1901). El saneamiento de la ciudad de Tepic, *La Democracia*.
- DIARIO EL PACÍFICO. (1976). LAS OBRAS DEL RÍO MOLOLOA EVITARÁN INUNDACIONES: RH, *Diario el Pacífico*. Retrieved from <https://hemerotecanayarit.com/index.php/hace-40-anos/759-las-obras-del-rio-mololoa-evitaran-inundaciones-rh>
- DOF. (1975). *DECRETO por el que se reserva en favor del Municipio de Tepic, Nay., una superficie aproximada de 200 hectáreas, que será ganada con las obras de rectificación y encauzamiento del Río Tepic o Mololoa*. México, D.F.: 10/12/1975.
- EL OBSERVADOR DE NAYARIT. (1976). Iniciaron las obras de rectificación en el Mololoa, *El Observador de Nayarit*. Retrieved from <https://hemerotecanayarit.com/index.php/hace-40-anos/693-iniciaron-las-obras-de-rectificacion-en-el-mololoa>
- GONZÁLEZ, S. L. S. (2019). *Desigualdades socioterritoriales de la zona metropolitana Tepic*. (Doctorado), Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco.

- HERRERA-LEÓN, W. H., PACHECO-MARTÍNEZ, J., HERNÁNDEZ-MARÍN, M., PADILLA-CENICEROS, R., & PEREZ-REA, M. D. L. L. (2018). Land subsidence and its effects on the urban area of Tepic City, México. *WIT Transactions on The Built Environment*, 179, 369-380.
- IMPLAN-TEPIC. (2000). *Plan de Desarrollo Urbano de Tepic 2000-2020*. Tepic, Nayarit: Municipio de Tepic Obtenido de https://implantepic.gob.mx/planes_programas/PDU2000-2020.pdf.
- INEGI. (1984). *Geología de la República Mexicana*. México, D.F.: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825230968/702825230968_1.pdf.
- INEGI. (2004). *Guía para la Interpretación de Cartografía Edafología*. Aguascalientes, Ags.: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231736/702825231736_1.pdf.
- INEGI. (2005). SIATL. Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas. from https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/
- INEGI. (2013). *Conjunto de Datos Vectorial Edafológico Escala 1:250,000 serie II, Tepic F13-8*. Aguascalientes, Ags.: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/#Descargas>.
- LA DEMOCRACIA. (1901, 2 de octubre de 1901). Saneamiento de Tepic, *La Democracia*. Retrieved from <https://hndm.iib.unam.mx/consulta/resultados/visualizar/558a331f7d1ed64f16908683?resultado=19&tipo=página&intPagina=2&palabras=paludismo>
- LUNA, J. P., & JARQUÍN, A. M. I. (2012). *El río Mololoa: Motor de la industria tepiqueña en el siglo XIX*.

- MORÁN, C. A. (1988). *La industria eléctrica en México y su desarrollo en el estado de Nayarit*. Tesis. (Licenciatura), Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit.
- NAVARRETE, L. (2020). *El río Mololoa: la construcción polisémica del paisaje fluvial urbano en Tepic, Nayarit*. (Doctor), Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit.
- POE. (1891). *Condiciones hidrográficas del territorio de Tepic*. Tepic, Nayarit: Obtenido de <https://hndm.iib.unam.mx/consulta/resultados/visualizar/558a36ae7d1ed64f16cc1228?resultado=1&tipo=página&intPagina=3&palabras=mololoa>.
- POE. (1976). *Autorización al Ejecutivo del Estado para gestionar y contratar con el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos S.A. un crédito para la rectificación del cauce del Río Mololoa*. Tepic, Nayarit: Períodico Oficial del Estado.
- RANTZ, S. E. (1982). Measurement and computation of streamflow *Water Supply Paper, 2175* (Vol. 1-2): U. S. Geological Survey.
- SEDATU. (2014). *Atlas de Riesgos del Municipio de Tepic, Nayarit*. Tepic, Nayarit: Secretaría de Desarrollo Agrario territorial y Urbano.
- SGM (Cartographer). (1998). Carta geológico-minera Tepic F13-D21 escala 1:50,000 Retrieved from http://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/905_F13-D21_GM.pdf
- SPP. (1981). *Síntesis Geográfica de Nayarit*. México, D.F.: Obtenido de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220532/702825220532_1.pdf.



Acciones para la prevención de inundaciones en la cuenca del Río Mololoa

Jorge Ramírez Hernández¹

Introducción

Las acciones propuestas para la prevención de inundaciones en la cuenca del RM están enmarcadas en conceptos de resiliencia, reducción de la vulnerabilidad, soluciones verdes y ciudades sensibles al agua. En el primer apartado se presenta una descripción muy general del riesgo de desastres por inundaciones a nivel mundial, algunas estrategias desarrolladas, refiriendo algunos casos de éxito, para luego en el segundo apartado presentar las estrategias internacionales propuestas por la Agencia de Reducción del Riesgo de Desastres de las Naciones Unidas (UNDRR). Con estos conceptos y formas de abordar el problema de la prevención de inundaciones en mente, el tercer y cuarto apartado presentan las propuestas específicas para la cuenca del RM desde su vertiente estructural y no estructural respectivamente.

¹ Investigador del Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Correo electrónico: jorger@uabc.edu.mx

Se debe tener en cuenta que estas propuestas son dinámicas, que la realización de las acciones estructurales deberá ser dimensionada en el momento de su implementación y que pueden ser ejecutadas de forma progresiva de acuerdo con la disponibilidad de recursos y la demanda de los habitantes. Adicionalmente, a diferencia de las acciones estructurales con tiempos de ejecución específicos, algunas de las acciones no-estructurales requieren actividades continuas con tiempos de respuesta mucho más largos relativos a la culturización.

Estrategias internacionales.

Considerando que entre 2020 y 2019 el 90 por ciento de todos los desastres en el mundo estuvieron relacionados con desastres climáticos y de éstos las inundaciones representaron el 44% y que para el 2020 este porcentaje ascendió al 52% (UNISDR, 2022) afectando a 2.3 billones de personas, los desastres por inundación no son un problema sencillo ni resuelto. Estos desastres muestran matices que es importante mencionar, por ejemplo, considerar que las ciudades en los países en desarrollo son las más impactadas con una marcada afectación a las poblaciones más pobres y constituyendo un problema de género por impactar preferencialmente a las mujeres.

Las pérdidas globales por desastres naturales en el 2020 fueron un 25% superior a las del 2019 y se estima que durante los últimos 40 años se han perdido en total 5.2 trillones de dólares (UNDRR, 2021). Sin embargo, estos costos están asociados principalmente a los mega-desastres a nivel mundial, por ejemplo, Nigeria (2012), Thailand (2013), el sureste de Europa (2014) y el sur de Carolina en Estados Unidos (2015) que causaron numerosas pérdidas de vidas humanas y económicas (Soz, Kryspin-Watson, & Stanton-Geddes, 2016).

Las pérdidas económicas directas de los desastres por inundación son difíciles de estimar en eventos de menor magnitud con impactos locales, que suceden con mayor frecuencia y en mayor número. Más aún, los costos asociados a daños secundarios que en muchos de los casos afectan de forma di-

recta a los habitantes con menores ingresos, no son contabilizados, como: el deterioro o pérdida de los muebles de casa, el deterioro de los bienes inmuebles por inundación o humedecimiento, la imposibilidad de trabajar durante las inundaciones, los costos de traslado hacia los centros de trabajo, la pérdida o deterioro de las materias primas o materiales utilizados en labores de trabajo informal, enfermedades o tratamientos clínicos por causa de la exposición al agua. reconocer

Reconociendo que en el 2015 la mitad de la población mundial vivía en las ciudades y que en 2050 alcanzará los dos tercios (Soz et al., 2016), la reducción del riesgo a desastres naturales en los centros de población es sin duda el objetivo prioritario. Muchas de las ciudades del mundo, y Tepic no es la excepción, se están enfrentado a un rápido crecimiento poblacional por la migración desde el campo a los centros urbanos; a una creciente urbanización que incrementa los escurrimientos; y a un aumento en la intensidad de la precipitación por el cambio climático presentando eventos tormentosos más intensos y de corta duración.

El incremento de los caudales en los sistemas de drenaje pluvial, los drenes, arroyos y ríos está rebasando sus capacidades de conducción aumentando el riesgo de catástrofes por inundación, lo que requiere una estrategia de manejo diferente. Esta nueva estrategia para el manejo de los escurrimientos dentro de las ciudades debe ser más integral (holística), sustentable, inclusiva, y resiliente que considere la presión que ejerce el crecimiento de las ciudades compitiendo por el espacio en densos conglomerados urbanos y una enorme degradación del medio ambiente, que si bien incluya soluciones de ingeniería tradicionales (soluciones grises) también permitan el funcionamiento natural de las cuencas hidrológicas, las superficies de inundación, los ríos y en su caso de las zonas costeras, a través de soluciones verdes.

Así como el aprovechamiento del agua de lluvia en usos adicionales directos como son los techos verdes, captura de agua de lluvia, o bien, por infiltración mediante cunetas de infiltración al costado de las calles, pavimentos permea-

bles, etc. Esta nueva estrategia conocida como Soluciones de Infraestructura Verde (*Green Infraestructura (GI) Solutions*) se enfoca en usar los procesos naturales para mitigar el impacto negativo de las precipitaciones y potenciar los beneficios ambientales, sociales y económicos. La aplicación de esta estrategia promueve la formación de ciudades sensibles al agua resilientes a las inundaciones con la participación de los sectores sociales, económicos y gubernamentales. A continuación, se presentan algunos ejemplos exitosos en el mundo, en diferentes regiones y objetivos a largo plazo.

La ciudad de Portland logró reducir las inundaciones implementando acciones regulatorias en la construcción, incentivando la adopción de techos verdes, banquetas verdes que mejoran la infiltración y la calidad de vida de los ciudadanos, todo ello con un programa de monitoreo de los beneficios de dichas acciones. Por su parte la ciudad-país de Singapur, particularmente en la zona baja del centro de la ciudad construyó un sistema de canales naturalizados rodeado de vegetación que conducen el agua a represas y finalmente al mar, transformando la ciudad en una ciudad de jardines y agua. Esta agua es tratada muy cerca de su origen y se incentiva el uso del agua captada de la lluvia para su posterior uso en las casas. Todo este programa fue desarrollado y realizado en asociación con los habitantes, la iniciativa privada y el gobierno conocido como Singapur-3P. China, cuyo desarrollo en los últimos 30 años ha sido muy acelerado, experimenta inundaciones en muchas de sus ciudades. Ante ello el gobierno chino desarrolló, en el 2015, el programa esponja en 16 ciudades que consiste en la aplicación de tecnología amigable ecológicamente para promover la infiltración y reuso del agua de lluvia, el programa está aún en proceso y se espera operar el 60% de la lluvia en esas ciudades. La ciudad de Colombo en Sri Lanka está implementando un programa de reducción de riesgo por inundación a partir de una severa inundación en el 2010, recibe apoyo del Banco Mundial. Se trata de una serie de lagos y humedales que actúan como áreas de retención durante los escurrimientos además de proporcionar un tratamiento natural al agua y controlar la temperatura. La ciudad portuaria

de Beira en Mozambique con una densa población en asentamientos informales y con una deficiente infraestructura de agua potable y saneamiento con el apoyo de diversas instituciones internacionales (Banco Mundial, Programa piloto de resiliencia al cambio climático, Programa de cooperación del Gob. Alemán, entre otros) ha restablecido el flujo en el canal principal del Río Chivebe y del sistema de canales naturales de drenaje mediante su dragado y la construcción de una compuerta para controlar la entrada y salida de la marea en la rada portuaria (Soz et al., 2016).

La estrategia propuesta para la ciudad de Tepic presentada en este documento considera la reducción del riesgo por inundación retomando acciones recomendadas por diferentes organismos internacionales con éxito. Se presentan diversos tipos de acciones, que van desde las acciones ingenieriles tradicionales conocidas como infraestructura gris, acciones basadas en infraestructura verde que ofrecen mayor resiliencia a la ciudad, así como acciones de regulación en el uso del suelo basados en información climatológica, geológica e hidrológica y de medición, hasta las acciones de sensibilización de los residentes de la ciudad, especialmente los de las zonas vulnerables así como la formulación de planes para la preparación antes de la contingencia, durante y después. Todo ello, además de hacer más resiliente a la ciudad, conlleva a un mejor aprovechamiento de los eventos de precipitación para el medio ambiente con la reconfiguración de humedales naturales y artificiales que restablezca el hábitat natural de la región, provean espacios de convivencia, relajación, deporte y mejoren las actividades económicas por turismo y esparcimiento dándole una mejor imagen a la ciudad.

La reducción del riesgo de desastres por inundación está íntimamente relacionada y en sintonía con conceptos como gobernanza, en la que la solución a los riesgos se alcanza a través de la participación activa, informada y consensuada entre los diferentes actores; los gubernamentales, económicos y sociales, así como el concepto de resiliencia tanto de los habitantes que sufren estos desastres, los servicios y las estructuras públicas y privadas. En este sentido y

considerando los acuerdos internacionales de la Agenda 2030, el Marco Sendai para la reducción del riesgo de desastres fue respaldado por la ONU en el 2015.

En este Marco se reconoce que, si bien, en el Estado recae la función principal de reducir el riesgo de desastres, es una responsabilidad que debe compartirse con otros actores, como son los gobiernos locales, el sector privado y otros grupos interesados. Se adoptan medidas sobre tres dimensiones del riesgo de desastres (exposición a amenazas, vulnerabilidad y capacidad, y características de las amenazas) para poder prevenir la creación de nuevos riesgos, para reducir los riesgos existentes y para aumentar la resiliencia (UNDRR, 2022). A continuación se presenta una síntesis de las acciones prioritarias establecidas por el Marco Sendai (UNDRR, 2015) enmarcadas en la situación específica de la cuenca del RM con el objeto de reducir el riesgo de inundación.

1. *Comprender el riesgo de desastres.* El manejo del riesgo de desastres necesita estar basado en la comprensión del riesgo de desastres en todas sus dimensiones de vulnerabilidad, capacidad, grado de exposición de las personas y los bienes, las características de las amenazas y el entorno. Es decir, se debe conocer todos los aspectos, para lo cual se requiere observar, medir y evaluar su origen, desarrollo, extensión, intensidad, efectos, tanto de las inundaciones (peligro) como del grado de exposición en el que se encuentra la población, sus bienes y servicios. Este conocimiento nos permitirá establecer medidas de prevención y mitigación del riesgo, pero, además permitirá estar mejor preparados para responder en caso de que se presente.
2. *Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para su gestión.* La gobernanza del riesgo de desastres a nivel nacional, regional y mundial es vital para la prevención, la mitigación, la preparación, la respuesta, la recuperación y la rehabilitación. Asegurar la coherencia a nivel nacional y local de los marcos legales y regulatorios, así como las políticas públicas que definen los roles y responsabilidades, guiando e incentivando a los sec-

tores públicos y privados a tomar acciones ante los riesgos de desastres. En esta acción está enmarcados los capítulos 1 a 3 en los que se hace un análisis del estado de la situación legal y regulatoria de los ámbitos de acción de los distintos niveles de gobierno proponiendo un mecanismo de coordinación y cooperación que fomenta la participación de todos los actores en la reducción del riesgo de inundaciones en la ciudad de Tepic.

3. *Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia.* Las inversiones públicas y privadas para la prevención y la reducción del riesgo de desastres mediante medidas estructurales y no estructurales son esenciales para aumentar la resiliencia, económica, social, sanitaria y cultural de las personas, las comunidades, los países y sus bienes, así como del medio ambiente. Estas inversiones deberán ser impulsoras de la innovación, el crecimiento y la creación de empleos. A su vez, estas medidas son rentables al ser instrumentos para salvar vidas, prevenir y reducir pérdidas materiales, así como asegurar una recuperación y rehabilitación efectiva. En esta acción prioritaria se centra este capítulo, en el que después de un entendimiento de tanto el peligro como el riesgo de la población vulnerable a las inundaciones se proponen acciones estructurales y no estructurales específicas que ayudarán a reducir el riesgo por inundaciones.
4. *Aumentar la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz y «reconstruir mejor» en los ámbitos de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción.* La experiencia indica que el crecimiento constante del riesgo requiere fortalecer aún más la preparación para casos de desastres para dar una respuesta más efectiva y una recuperación más eficiente. Las fases de recuperación, rehabilitación y reconstrucción es una oportunidad única para construir mejor, integrando las medidas de reducción del riesgo en las políticas de reconstrucción.

Acciones Estructurales. Reseña de las acciones estructurales propuestas para la ciudad de Tepic.

1. Modernización de puentes

El incremento en caudal de los ríos por el crecimiento de la urbanización y el aumento de población de la ciudad de Tepic ha provocado que los puentes, particularmente los vehiculares, hayan superado su capacidad de conducción y que provoquen remansos aguas arriba de la estructura poniendo en riesgo de desbordamiento e inundación a las poblaciones aledañas.

Dentro de la demarcación de la ciudad de Tepic hay 15 puentes vehiculares cuyas capacidades de conducción de agua fueron estimadas a partir del análisis hidráulico, algunos de ellos poseen una muy reducida capacidad, inclusive por debajo de los $25 \text{ m}^3/\text{s}$ que representa un período de retorno menor a 5 años. Estas reducidas capacidades constituyen un peligro de inundación por la obstrucción que causan al flujo que se pudiera presentar ante una tormenta intensa. Los puentes con menores capacidades de conducción, de aguas abajo hacia aguas arriba del RM, son: los 5 puentes aguas abajo del puente México; el puente México, que a pesar de que el análisis hidráulico lo clasifica como con capacidad, se han registrado inundaciones por la obstrucción de flujo; el puente San Luis que posee una capacidad de $40 \text{ m}^3/\text{s}$ con período de retorno de 10 años; el puente Mololoa (Av. Prisciliano Sánchez) que solo tiene una capacidad para $37 \text{ m}^3/\text{s}$ que corresponde a un período de retorno de 5 años. Particularmente el puente del Parque Ecológico ubicado en la reciente rectificación del cauce muestra una capacidad muy baja ($<5 \text{ m}^3/\text{s}$) y que bajo caudales observados durante octubre del 2021 creó remansos que dejaron un borde libre de talud menor a 0.50 m.



Remanso de agua dentro del canal principal del RM provocado por el puente México el 13 de agosto del 2022. Foto tomada por Julián Gazcón Ocádiz.

2. Construcción de estanques de retención

La construcción de estanques de retención permite disminuir el caudal pico producido por eventos de escurrimiento pluviales extraordinarios cuyo caudal podría superar la capacidad de conducción del RM. La ubicación de los estanques, a lo largo del cauce del RM, requiere considerar la viabilidad de terrenos usados para la agricultura (menor precio y mayor extensión), su dimensionamiento con respecto al flujo que se desea retener y su elevación. Adicionalmente, estos estanques permitirían recuperar el funcionamiento original de las planicies de inundación del cauce del RM antes de su rectificación, aportando zonas de humedales que al menos durante la época de lluvias podrían mantener un nivel de agua libre y aportar un hábitat valioso a la región ya perdido.

Pantanal-Aeropuerto. La zona ocupada por el aeropuerto constituía en sí misma una planicie de inundación de los escurrimientos provenientes tanto de las subcuenca que drenan desde el sur provenientes de Trigomil, La Labor, Camichin de Jauja y el volcán de Sangangüey, pero también de las subcuenca

que provienen del Testerazo, Xalisco y el mismo Pantanal. Se propone adecuar estas planicies de inundación, que aún ahora algunas de ellas conservan agua, para que puedan ser llenadas durante las tormentas y puedan ser desalojadas después de las mismas, funcionando como reservorios rompe picos.

Estanque Xalisco. Los escurrimientos provenientes del arroyo Seco que cruzan el municipio y la zona urbana de Xalisco aportan agua al RM justo antes del puente de la Carretera Nacional 15 Tepic-Guadalajara atravesando la planicie de inundación que no ha sido totalmente invadida por la mancha urbana porque la vialidad referida ha funcionado, hasta ahora, como una barrera. Esta zona de uso agrícola podría ser utilizada como un estanque de retención configurándose como un humedal naturalizado y además como una fuente de recarga del acuífero.

3. Modernización y ampliación de la red de conducción de aguas pluviales en la ciudad

El sistema de drenaje pluvial con que se cuenta actualmente requiere ser ampliado y modernizado con frecuencia, dado que el caudal pico aumenta progresivamente con el aumento de la urbanización. Esta acción forma parte de los proyectos que el organismo operador del agua de Tepic (Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado, SIAPA) en conjunto con la Comisión Estatal del Agua (CEA) tiene programados.

Interceptor Tecnológico. El polígono formado por la Avenida Tecnológico la Carretera Nacional 15 Tepic-Guadalajara, el cauce del RM y la Vía del Ferrocarril y la Av. Xalisco debe ser drenado por este interceptor. Se propone hacer ramificaciones perpendiculares a su trazo actual que recojan esos escurrimientos.

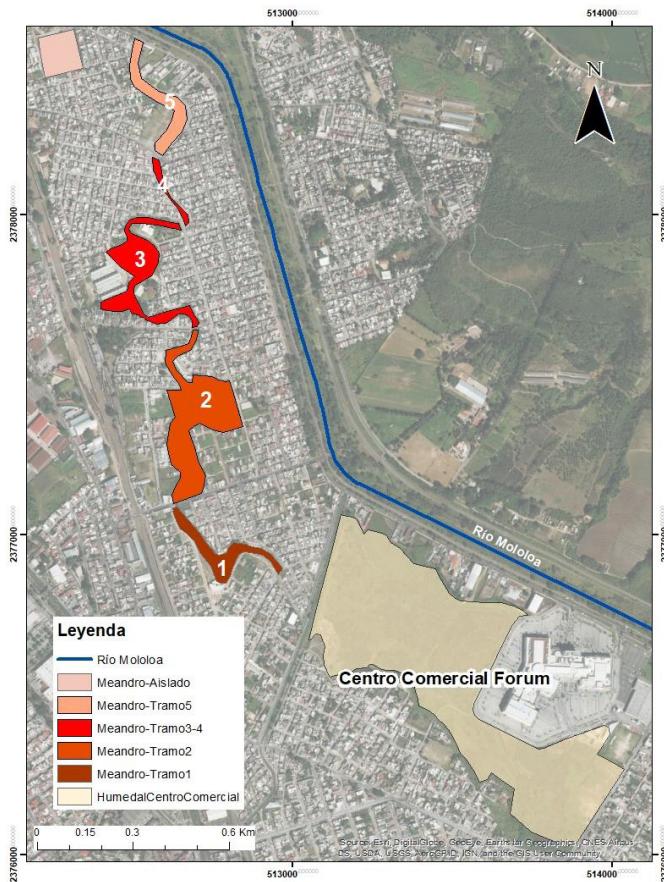
Interceptor Rey Nayar. Se retoma la propuesta del SIAPA que considera la ampliación de este interceptor hacia el Oeste y Sur con el nombre del Inter-

ceptor Perú-Sistema Sur, evitando el riesgo por inundación de la Colonia Los Fresnos Poniente. La vinculación de esta acción con el establecimiento de la zona de reserva del lado poniente de la Carretera Nacional 15 Tepic-Guadalajara que impida el cambio de uso de suelo a urbano como sucedió con los asentamientos El Ocho y Félix Peña ya que incrementa el escurrimiento, por la falta de superficie de infiltración de los escurrimientos provenientes del Cerro San Juan.

4. Recuperación de meandros abandonados

Las soluciones basadas en la naturaleza permiten, por un lado, dar una salida a los problemas de inundaciones que es el objetivo principal, pero por otro, permiten la conservación o en muchos casos generación de hábitat de humedal e inclusive proporciona espacios de esparcimiento para los residentes de las zonas urbanas. En el seno de la ciudad de Tepic se conservan aún algunos espacios naturales que formaban parte del curso natural del RM y que después de su rectificación y encauzamiento fueron abandonados y aislados, pero que a la fecha no han sido impactados totalmente.

El adecuado funcionamiento hidráulico de estos humedales mediante drenaje y obras de toma y descarga podrían drenar las calles inmediatas a los humedales, reducir el caudal pico que ingresa al RM por el Canal El Sabino y restaurar el hábitat ribereño que tenían antes de la rectificación del cauce.



Meandros abandonados recuperados para la generación de hábitat de humedal, espacios de esparcimiento para los residentes de las zonas urbanas y como estanques de detención.

- *Parque Ecológico.* Actualmente este meandro ya fue restaurado y utilizado como parque ecológico educativo, sin embargo, tiene una deficiente comunicación con el RM. Este meandro podría servir para almacenar parte de los escurrimientos del RM en condiciones de tormentas extremas por algunas horas y descargarla después de que el caudal pico pasó por el RM.

-
- *Meandro adyacente al canal El Sabino.* Esta zona con cota muy baja es en sí misma una terraza baja del RM que eventualmente se inundaba con las crecidas del RM. Actualmente está completamente desconectada hidráulicamente, por lo que se propone reconectarse con el canal El Sabino aguas arriba y conectarla al RM aguas abajo con el objeto de retener de forma temporal el agua durante las crecidas. Su situación dentro de la zona urbanizada permite proponer como un parque recreativo que pueda ser desalojado durante la tormenta.
 - *Antiguos Meandros.* De igual forma que el parque ecológico estos meandros pueden recibir los escurrimientos de los desarrollos habitacionales contiguos y descargarlos con un tiempo de retraso al RM, para lo cual se tendría que reconectarlos hidráulicamente con el RM a través de tuberías que crucen el Blvr. Colosio.

5. Red de mediciones de flujo y precipitación dentro de la ciudad

La red de estaciones hidrométricas implementada fue de gran ayuda para la estimación del modelo de escurrimiento e hidráulico del RM dentro de la ciudad de Tepic, que junto con los datos históricos de la estación Mololoa de la CONAGUA permitieron estimar los escurrimientos de las distintas cuencas que aportan agua al río a su paso por la ciudad. Sin embargo, para dar seguimiento a los caudales medidos y a las acciones propuestas se proponen algunas estaciones permanentes y temporales como se enumeran a continuación. Por otro lado, no existen mediciones de la precipitación en las inmediaciones de la ciudad, las estaciones existentes propiedad de la CONAGUA son de vital importancia para cuantificar la precipitación regional que con la estación Tepic se complementan de forma adecuada. Sin embargo, para realizar estudios a mayor detalle, medir intensidades de precipitación y para zonificar los escurrimientos dentro de la ciudad se propone la instalación de 3 estaciones adicionales cuya ubicación se justifica en los siguientes párrafos.

-
- *Red de estaciones hidrométricas.* Se propone la conservación y monitoreo de las siete estaciones hidrométricas instaladas en el 2019. Estación NAYO1: Balneario Los Rosales; Estación NAYO2: Bloquera (aeropuerto). Estación NAYO3: Hospital Puerta de Hierro. Estación NAYO4: Boulevard Luis Donaldo Colosio (Puente peatonal). Estación NAYO5: Leona Vicario. Estación NAYO6: Ruinas de Jauja. Estación NAYO7: Loma Baja (Presa), ver Sección 2, Capítulo 2 para su ubicación espacial.
 - *Estaciones hidrométricas adicionales permanentes.* Adicionalmente a las estaciones referidas se propone el mantenimiento y recalibración de la estación hidrométrica en el puente México, de la CONAGUA, integrando un medidor de niveles automático con el objeto de tener mediciones de los caudales pico de forma horaria y no diaria, como lo reporta la CONAGUA. Se propone además la instalación de una estación hidrométrica permanente en el canal El Sabino. Este canal constituye uno de los ingresos de agua más importantes al cauce del RM en el corazón de la ciudad, provocando un aumento en el caudal y nivel del agua en el RM que deberá ser analizado en el tiempo porque se estima que irá en aumento.
 - *Estaciones hidrométricas temporales.* Adicionalmente a ellas se propone integrar de forma temporal mediciones de flujo en los estanques de retención propuestos, durante al menos un año hidrológico, con el objeto de conocer los volúmenes que ingresan a dichos estanques y los que salen de ellos. Con esto se conocerá el funcionamiento hidráulico real de cada uno de ellos y se podrán hacer adecuaciones con base en estas mediciones.
 - *Red de estaciones climatológicas.* Para tener un mejor monitoreo de las precipitaciones dentro de la ciudad considerando su origen se propone la instalación de 3 estaciones climatológicas ubicadas en el cerro San Juan, en la ciudad de Xalisco y en el Volcán Sangangüey.
 -

La estación climatológica cerro San Juan ubicada en su vertiente oriente registrará una de las fuentes de escurrimiento más importantes para la ciudad de Tepic, para el sistema de drenaje pluvial de la ciudad, así como el aporte al RM. El conocimiento de la cantidad de agua precipitada en esa zona permitiría considerar las variaciones de aporte de agua desde este flanco ya que prácticamente toda la margen izquierda del RM a su paso por la ciudad recibe estos escurrimientos. Por otro lado, se sabe que algunos de los eventos tormentosos provocados por Huracanes y tormentas tropicales que vienen de la costa pasan por esta estribación. De igual forma la estación climatológica Xalisco permitirá registrar las precipitaciones que forman los escurrimientos provenientes de la vertiente sur del cerro San Juan y los cerros el Taray, el Italiano y el Testerazo que también se integran al sistema de drenaje del RM por lo cual es importante conocer estos procesos de precipitación.

Finalmente, la estación climatológica Volcán Sangangüey, registrará la información climatológica de la zona oriente de la ciudad que en general tiene una menor precipitación que la zona poniente (margen izquierda del RM) pero no se conoce con precisión sus intensidades debido a que la estación más próxima está en la zona de Santa María del Oro.

6. Decretar zonas de reserva

Esta acción considera dar certeza jurídica a las áreas que se desea destinar para estanques de retención, humedales artificiales o que serán impactadas por la ampliación de cauces o modernización de puentes. La adquisición de esas zonas deberá ser parte de un proceso de adquisición de las superficies requeridas por expropiación, lo que requiera la recategorización del uso de suelo de estas las zonas con el objeto de impedir que sean aprovechadas con otros fines.

- *La reserva Poniente.* Está ubicada al oeste de la Carretera Nacional 15 Tepic-Guadalajara desde su cruce con la carretera No. 200 hasta la intersección con la carretera Tepic-San Blas. Recibe, conduce e infiltra los

escurrimientos del Cerro San Juan hacia la ciudad por el lado poniente alimentando diversos zanjones que ya no tienen capacidad para conducir esos escurrimientos. Se propone decretar esta zona como reserva para mantener el proceso de infiltración de los escurrimientos que impida su urbanización y con ello no siga aumentando la velocidad y la cantidad de escurrimiento hacia la ciudad.

- *Antiguos Meandros.* La zona ubicada entre las vías del ferrocarril y el Parque Ecológico forma parte de la planicie de inundación del RM antes de su rectificación y canalización. Esta zona, como se comentó en el Capítulo 1, está sometida a un alto riesgo de inundación ya que ha sido urbanizada en prácticamente toda su extensión, dejando únicamente algunos tramos de los antiguos meandros del RM totalmente aislados del flujo del RM. La propuesta consiste en decretar esta superficie como un corredor ecológico cuya capacidad de retención de escurrimientos e infiltración no se vería reducida y además condujera estos escurrimientos a través de una conexión al cauce principal del RM. Esta conducción de agua al RM reduciría en gran medida el riesgo de inundaciones.
- *Parque Ecológico.* Si bien esta zona ya está protegida como parque ecológico su funcionamiento como canal de detención del escurrimiento ayudaría a reducir el riesgo por inundación de la zona poniente al Parque Ecológico, particularmente de las colonias Valle del Country, Comerciantes y Benito Juárez Oriente. Adicionalmente podría incrementar el área de detención para control de avenidas al polígono ubicado atrás del Centro Comercial Plaza Forum y entre este mismo centro comercial y la avenida Lima y el canal El Sabino.

7. Desazolve y limpieza del cauce del RM

Aunque la capacidad del cauce rectificado del RM posee una capacidad suficiente para conducir caudales para períodos de retornos inferiores a los 50 años, es preciso continuar con las obras de desazolve y limpieza del cauce. En

este trabajo se identificaron al menos 3 secciones en las que es preciso llevar a cabo esas obras.

- *Tramo Ladrillera-Planta de Tratamiento.* Limpieza del cauce y dragado desde la zona de La Ladrillera hasta la zona de la planta de tratamiento de la CONAGUA, sin necesidad de ampliar el cauce. En este tramo se han llevado a cabo obras de limpieza con anterioridad, pero es necesario que se cuente con un programa permanente de remoción de sedimentos, muchos de ellos aportados por las descargas no reguladas de granjas a lo largo del cauce y otros provenientes de las partes altas de las cuencas de aportación.
- *Tramo Planta de Tratamiento-Puente México.* El tramo rectificado desde la planta de tratamiento hasta el puente México, aunque recibe menos cantidad de sedimentos las aportaciones de agua de los canales y descargas pluviales y el crecimiento de vegetación dentro del cauce y en los taludes, requieren que el mantenimiento sea constante.
- *Tramo puente México-El Punto.* En este tramo aumenta la pendiente del cauce de forma importante, pero se disminuye la sección transversal por la presión urbana, observándose que los taludes están formados por muros de contención de casas habitación. Para este tramo se propone la ampliación del cauce recuperando algunas de los predios más vulnerables para clasificarlas como áreas de conservación. Estas zonas próximas a los taludes y las terrazas bajas vulnerables a inundarse bajo eventos de grandes avenidas, pueden ser temporalmente aprovechables como áreas de descanso y paseos ciclistas y peatonales. Así mismo, ocupar las terrazas medias y altas para fines de uso público con equipamiento permanente que están propensas a inundaciones con períodos de retorno muy altos.

8. Sistemas de pozos de infiltración para captación de lluvia y recarga de acuíferos.

Las ciudades Tepic y Xalisco dependen cada día más del agua subterránea para su abastecimiento y la agricultura de riego para sistemas de invernadero ha aumentado en los últimos años haciendo uso del agua subterránea, con lo cual el acuífero está siendo cada día más explotado (Conagua, 2015). Por otra parte, los escurrimientos provenientes del cerro San Juan se han incrementado por diversos factores, entre ellos; la alta presión urbana en sus laderas, el aumento esperado en la intensidad de los eventos tormentosos y la presión que se ha ejercido sobre los zanjones que de forma natural funcionaban como áreas de detención temporal de los escurrimientos y ahora ponen en riesgo a las habitantes de las colonias aledañas (Beas-Medina et al., 2020).

La reducción de los escurrimientos, en intensidad o volumen, dentro de las ciudades requiere obras que demandan amplias superficies de terreno frecuentemente no disponibles. Por lo que, para la ciudad de Tepic, se propone el aprovechamiento de las cárcavas remanentes de los zanjones ubicados dentro de la ciudad y la construcción de zanjas de infiltración fuera de la ciudad que además de reducir el escurrimiento permitan recargar el acuífero.

- *Pozos de infiltración.* La infiltración de agua de lluvia al acuífero dentro de las ciudades es posible a través de estructuras conocidas como pozos de infiltración que capten agua precipitada en una subcuenca de captación reducida, ya que, por un lado, la velocidad de infiltración es varios ordenes de magnitud menor que la velocidad del escurrimiento y, por otro, se desea que la cuenca de captación provea agua para ser infiltrada con una buena calidad por lo que esta cuenca deberá poder ser controlada. Por ello se propone instalar pozos de infiltración en el área más aguas abajo de los zanjones que recojan el agua precipitada dentro de éstos o en su cercanía y que después de una remoción de sólidos y contaminantes pueda ser infiltrada al acuífero.

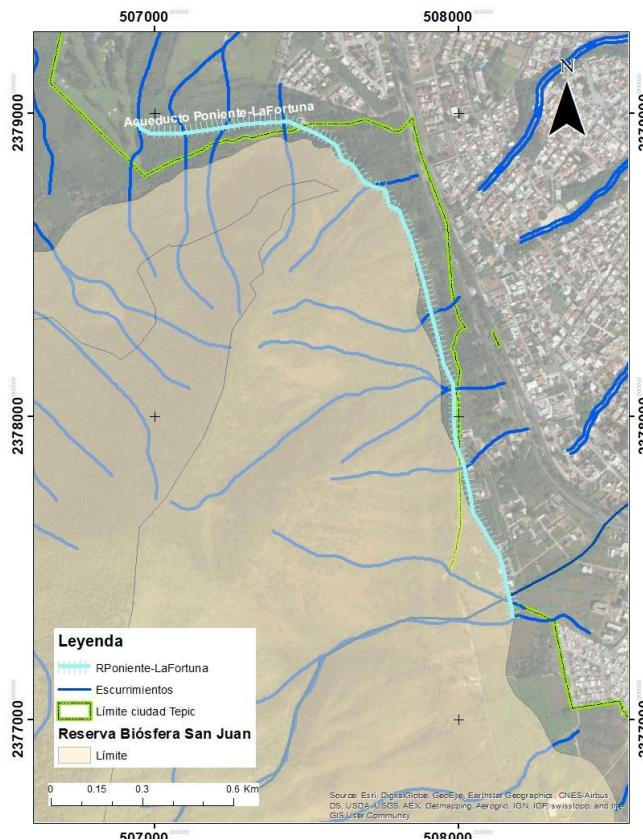
-
- *Estructuras para recarga de acuíferos.* Los escurrimientos provenientes fundamentalmente de la porción suroeste del municipio de Tepic y del municipio de Xalisco se integran a la red de escurrimientos para finalmente llegar al cauce del RM. Con esta acción se propone construir barreras al flujo proveniente de las cotas altas, ubicadas al inicio de las planicies de inundación en el pie de monte, que retengan de forma temporal parte de los escurrimientos dando lugar a un tiempo mayor de circulación de agua, pero de forma más importante a la infiltración al acuífero. Se proponen bordos artesanales construidos a lo largo de una curva de nivel sobre terreno agrícola o sobre el cauce de un arroyo que en el caso de alguna crecida pueda ser fácilmente destruidos para dar paso a una crecida, evitando situaciones de peligro ante su rompimiento.

9. Acueductos para trasvasar agua entre subcuenca.

Como parte de las acciones para la reducción de los flujos provenientes de la porción oeste de la ciudad de Tepic que recibe escurrimientos provenientes del Cerro San Juan se propone desviarlos con la construcción de dos acueductos, el primero dirigiéndolos hacia al norte a la subcuenca del arroyo Grande hacia el poblado La Fortuna sacándolo completamente de la mancha urbana y el segundo hacia el sur a la subcuenca del arroyo Seco que si bien descarga el RM antes de su ingreso a la ciudad, evitará el incremento de la inundación en el sector suroeste de la ciudad de Tepic.

- *Acueducto reserva Poniente-La Fortuna.* Dado que esta zona recibe una buena parte de los escurrimientos provenientes del cerro San Juan, tiene una fuerte pendiente y sus escurrimientos ingresan a la porción poniente de la ciudad donde tienen que ser conducidos por la red de interceptores que ha tenido progresivamente que ser extendidos y ampliados. Se propone la construcción de un canal a cielo abierto que bordeé la falda del cerro y conduzca parte de estos escurrimientos por gravedad

hacia la subcuenca ubicada al norte en el poblado de La Fortuna. El canal podría desembocar en el afluente del cauce del arroyo Grande que nace en la vertiente norte del cerro San Juan a un costado del campo de Golf que se convierte en el arroyo Grande que corre paralelo a la Carretera Nacional 15 Tepic-Guadalajara.



Acueducto Reserva Poniente-La Fortuna bordeando el límite de la reserva y conduciendo parte del flujo escurrido del cerro San Juan hacia la cuenca La Fortuna al Norte.

Elaboración propia.

-
- *Acueducto El Sabino-Arroyo Seco.* La vertiente Este del cerro de San Juan como se comentó antes tiene uno de sus principales escurrimientos hacia el borde poniente de la ciudad de Tepic. Estos escurrimientos al ingresar a la ciudad de Tepic eran drenados por antiguos cauces que actualmente forma el canal El Sabino, y en su porción más al sur, por el arroyo Seco que cruza la ciudad de Xalisco y corre hacia el sureste bordeando la carretera Nacional 15 Tepic-Guadalajara. Los escurrimientos que entran a la ciudad de Tepic son recogidos por el interceptor Perú-Sistema Sur que se conecta con el interceptor Rey Nayar para descargar en el canal El Sabino. El trasvase de parte de estos escurrimientos hacia la subcuenca del arroyo Seco ya se realiza en parte con un pequeño canal que se ubica en el borde oeste de la carretera Nacional 15 Tepic-Guadalajara. Sin embargo, aumentar la capacidad del canal y extenderlo hasta el cauce del arroyo Seco incrementaría la vida útil de estos sistemas de drenaje y permitiría la recarga del acuífero en el estanque de retención propuesto para este arroyo.

Acciones no-estructurales. Reseña de las acciones no-estructurales para la ciudad de Tepic.

A partir de una visión holística para la reducción del riesgo de las inundaciones y su prevención es preciso acompañar las propuestas estructurales con acciones que no requieren la construcción de infraestructura y que se ha demostrado aportar beneficios significativos para la prevención. Estas propuestas a diferencia de las estructurales requieren la participación activa de la sociedad civil que es vulnerable a estos peligros y que se verá beneficiada directamente por su implementación. Si bien, requieren menos recursos económicos, demandan mucho esfuerzo de convocatoria y organización ciudadana, en ocasiones con tiempos de respuesta muy largos. Requiere, además, la participación y coor-

.....

dinación de los tres niveles de gobierno, los sectores económicos y sociales, coadyuvando al gobierno en su responsabilidad.

- *Implementación de un plan local de reducción del riesgo de inundaciones.*

Todo plan de acción no estructural para la reducción del riesgo de inundaciones debe iniciar con identificar el funcionamiento hidráulico del sistema tanto histórico como actual, identificando las modificaciones que ha sufrido a lo largo del desarrollo de las ciudades y en general de la cuenca de escurrimiento. Se identifica en esta etapa el funcionamiento natural, los sistemas hidráulicos que influyen en la conducción, almacenamiento, retención, encauzamiento del agua y de qué forma han sido alterados por presiones antropogénicas, así como cambios climáticos globales y locales. Si estos cambios han impactado de forma negativa aumentando el riesgo de inundaciones, haciéndolas más intensas, extendidas y frecuentes, identificar su ocurrencia, intensidad, localización y el grado de exposición de la población. Este plan permitirá evaluar las acciones requeridas, priorizar su ejecución e identificar a los actores y sus roles específicos. Debe, además, ir de la mano con el Plan de Desarrollo Municipal de la Ciudad de Tepic y el Atlas de Riesgos. A continuación, se describen algunos de los aspectos que deben incluirse en el Plan que constituyen las acciones no estructurales.

- a. Formación del Comité Ante Inundaciones. Asociación de entidades locales, estatales, regionales y nacionales para lograr recursos y mejorar la coordinación de las acciones.

Formar un comité contra inundaciones que se reúna regularmente para analizar los avances y recomiende acciones o proyectos de interés, coordinado por el gobierno municipal de Tepic con la participación de las diferentes instancias de los distintos niveles de gobierno como; CONAGUA, la CEA, el SIAPA, el Consejo de

Cuenca del Río Santiago (COCURS), dependencias de protección civil, planeación, Ejército, Cruz Roja, socorristas. Que incluya además a las organizaciones civiles como cámaras empresariales de comercios y servicios, juntas vecinales, organizaciones de la sociedad civil, academia. Cuya función sea fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para su gestión a nivel nacional que considere la prevención, la mitigación, la preparación, la respuesta, la recuperación y la rehabilitación. Además, identifique los marcos regulatorios nacionales y locales, así como los roles y responsabilidades de los entes de gobierno, las tareas de los sectores privados y sociales y los mecanismos para la obtención de recursos extraordinarios para afrontar los eventos de inundación.

b. Identificar, valorar y proteger los diferentes elementos del sistema hidrológico natural en la cuenca del RM

La identificación de los diferentes elementos del sistema hidrológico natural en la cuenca del RM (canales y cauces naturales, zanjones, humedales, planicies de inundación, zonas de recarga, etc.), así como la valoración de su importancia en la reducción del riesgo por inundación y en la recuperación de espacios naturales debe ser comunicada a la población y reconocida por los diferentes entes de gobierno. Este primer paso permitirá considerarlas en los Planes de Desarrollo Urbano como áreas de importancia fundamental y establecer los marcos regulatorios y legales necesarios para no solo impedir el cambio de uso de suelo sino establecer una política pública para su conservación y restauración. La segunda componente, no menos importante, es la de informar y educar a la población sobre el papel que juega este sistema de escurrimientos en la reducción del riesgo de inundaciones y la importancia de valorarlo y protegerlo. El sentido de apropiación que los habitantes y sus organizaciones desarrollos es crucial para su protección.

-
- c. Desarrollar códigos y normas de construcción seguros para zonas de riesgo.

Las normas de construcción de cualquier tipo de edificación dentro de las zonas con peligro de inundación deben asegurar que estas construcciones son capaces de resistir estos eventos de inundación. Con el objeto de aumentar la resiliencia de la ciudad ante estos eventos se deben establecer códigos de construcción que permitan tanto salvar vidas como reducir las pérdidas materiales, excluyendo la ubicación de servicios públicos e instalaciones críticas para la comunidad dentro de estas zonas, como son hospitales, refugios, instalaciones de organizaciones de auxilio, cruz roja, socorristas, subestaciones eléctricas, entre otras. En la ciudad de Tepic se identificaron en las zonas de inundación potencial la presencia de escuelas, oficinas públicas y servicios de salud.

- d. Plan integral de gestión ante inundaciones.

Es común el desarrollo de planes de gestión ante inundaciones que están enfocados a implementar diversas acciones para apoyar a la población después del evento, considerando las organizaciones involucradas, sus funciones y el financiamiento. Sin embargo, si los planes consideran las tres etapas del riesgo, antes de ocurrir el evento, durante el evento y después de haberlo sufrido la posibilidad de salvar más vidas y reducir los costos materiales es mucho mayor haciendo que las medidas sean muy rentables.

Antes: Los residentes deben estar informados de las zonas en peligro de inundación, sobre los pronósticos de inundaciones, implementar sistemas de alerta y planes de emergencia que incrementen la seguridad de dichos pobladores. Estos planes de protección a la población pueden venir acompañados de estrategias de notificación por parte de los comités de vecinos o de las agrupaciones civiles que auxilien a la población para desalojar sus casas.

.....

Acompañados de un plan de protección de sus bienes ante acciones de rapiña, que con frecuencia son implementados por el Ejército Nacional o la Marina.

Durante: Los registros de las inundaciones en Tepic históricamente se deben a eventos de precipitación relativamente cortos de aproximadamente 2 horas, provocando crecidas del caudal muy rápidas con elevaciones del tirante de agua no mayores a 1 m de elevación que son evacuados en cuestión de algunos días. Por lo anterior, las acciones de apoyo a la comunidad afectada deben ser inmediatas para evacuar y poner en lugares seguros a la población en cuestión de horas.

Después: Se propone implementar planes de reconstrucción y programas de apoyo gubernamental que permitan a las poblaciones afectadas reconstruir sus viviendas, reubicarlas e implementar medidas de mitigación contra futuras inundaciones «reconstruir mejor en sitios más seguros». Estos planes deben incluir apoyos para reubicar a las familias afectadas a zonas más seguras.

e. Incentivar acciones para reducir el escurrimiento.

Si bien la construcción de infraestructura pluvial que permita desalojar eficientemente los escurrimientos de las zonas urbanas es indispensable, los esquemas de urbanización actual que incluyen la pavimentación de calles, banquetas, estacionamientos públicos y privados, la reducción de espacios verdes aceleran el escurrimiento de la lluvia e impiden la infiltración del agua en el suelo. Por lo anterior, es necesario promover acciones de infraestructura verde, la conservación de espacios que contengan vegetación y suelo desnudo dentro de las casas, parques públicos sin pasillos recubiertos de concreto, espacios abiertos no recubiertos, captación de agua de lluvia, pavimentos porosos e islas de vegetación en estacionamientos, banquetas con materiales que permitan la infiltración o con corredores de vegetación que por un lado reduzcan tanto la velocidad como el volumen de escurrimiento y por otro induzcan la recarga del agua subterránea.

Para ello es preciso, además de adoptar códigos de construcción con infraestructura verde en nuevos desarrollos habitacionales como trampas de retención de sedimentos, descarga cero de escurrimientos, estanque de retención dentro de los desarrollos habitacionales que reduzcan el caudal máximo durante la tormenta, incentivar con beneficios fiscales o reducción de costos en los permisos de construcción que incentiven su implementación promoviendo las ciudades sensibles al agua resilientes a las inundaciones.

f. Mantener actualizada la evaluación del riesgo de inundaciones

Los trabajos que ha venido realizando la SIAPA, Obras Públicas Municipales y la CEA han impactado de forma importante en la reducción del riesgo de inundaciones en la zona urbana del municipio de Tepic, reduciéndolo en muchos casos tanto en extensión como en intensidad, lo cual se ha visto y se ha manifestado por los habitantes de estas zonas. Esto refleja la dinámica del proceso y la necesidad de actualizar las zonas clasificadas como de peligro.

De igual forma esta actualización de la evaluación de riesgos permitirá analizar los impactos acumulados por las acciones aplicadas dentro de la misma cuenca. Como es sabido, algunos de los proyectos realizados no tienen los efectos deseados o esperados, otros al contrario muestran que su efectividad alcanzó niveles más altos de los esperados. En ambos casos se modifican las zonas de riesgo y su intensidad, lo que hace, por un lado, imperiosa la necesidad de mantener mapas de riesgo actualizados, y por otro, modificar o proponer nuevos proyectos tanto estructurales como no-estructurales para reducir el riesgo.

g. Manejo de las llanuras de inundación.

Las llanuras de inundación juegan, como ya se comentó, un papel fundamental en la reducción de inundaciones, su manejo apropiado es una tarea impres-

cindible para el control del aumento de los caudales pico en cualquier cuenca que tenga presiones de crecimiento urbano, periurbano o zonas de desarrollo de servicios, por lo que se hace una referencia puntual.

Un manejo apropiado debe considerar al menos tres aspectos. A) Reconocer y delimitar las zonas que por su posición geográfica y nivel del terreno es susceptible de inundaciones, con frecuencia se observan zonas con humedad, reservorios estacionales de agua, que además tienen poca utilidad para la urbanización y se mantienen sin este uso por mayor tiempo. Sin embargo, el crecimiento de las ciudades aumenta la presión urbana y tradicionalmente son drenados e incorporados a usos de servicio urbano como el nuevo aeropuerto de Tepic. B) La formulación de códigos de uso de suelo que permitan su protección como zonas federales de cuerpos de agua perennes, áreas naturales protegidas como humedales interiores, por la presencia de especies de fauna íctica, vegetación hidrófila, hábitat para aves migratorias y locales, etc. además de promover la recarga de mantos acuíferos, la detención temporal de los escurrimientos y la retención de sedimentos. C) Informar a los propietarios de estos predios sobre el papel fundamental que juegan en la reducción del riesgo de inundaciones, los servicios ambientales que estos ecosistemas proveen y los incentivos que por su preservación pueden obtener tanto por programas gubernamentales como por organizaciones de la sociedad civil preocupadas por su conservación.

h. Programas de información y educación a la población para hacer frente a eventos de inundación

Los esfuerzos realizados para proteger a la población ante eventos de inundación por parte de los ayuntamientos y el gobierno del Estado no son suficientes si no se emparejan con una adecuada campaña de concientización, información y educación de la población sobre la forma en que pueden disminuir su

vulnerabilidad, responder a los eventos de inundación y las medidas de protección que pueden tomar dentro de su comunidad.

No obstante, hasta hace poco tiempo los gobiernos han incorporado estos programas como parte importante de las estrategias y acciones para reducir el riesgo por inundaciones y otros fenómenos naturales e inducidos (sequías, terremotos, deslizamientos de tierra, hundimientos, etc.). La Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) a nivel federal y sus representaciones a nivel estatal han incluido la participación de la ciudadanía en la elaboración de los Atlas de Riesgo. Sin embargo, queda mucho camino que recorrer para que la participación de la sociedad organizada reconozca su grado de vulnerabilidad y las acciones que tiene que realizar para disminuirlo.

Referencias

- ASA. (2020). *Conformación de Área de Seguridad de Extremo de Pista (RESA) en la Cabecera o2 del Aeropuerto de Tepic, Nayarit*. Ciudad de México: Obtenido de <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgiraDocs/documentos/nay/estudios/2019/18NA2019V0021.pdf>.
- AVALOS-JIMÉNEZ, A., VILCHEZ, F. F., GONZÁLEZ, O. N., & FLORES, S. M. M. (2018). Analysis of the land use and cover changes in the metropolitan area of Tepic-Xalisco (1973–2015) through landsat images. *Sustainability*, 10(6), 1860.
- BALLINAS-ZAVAleta, F. A. (2014). *Estudio Hidrológico para Análisis de Planicies de Inundación*. (Licenciatura), Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. Retrieved from https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/14753/1/TESIS_ESTUDIO_HIDROLOGICO_ESTUDIO_PLANICIES_INUNDACION.pdf
- BEAS-MEDINA, M. G., LÓPEZ-SOLIS, J., RENTERÍA-JARDON, M. A., & RAMÍREZ-CORDERO, J. M. (2020). Evaluación de la vulnerabilidad de la población por asentamientos en zanjones de Tepic, Nayarit, México. *EDUCATECONCIENCIA*, 28(29), 316-331.

- CHOW, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*: McGraw Hill.
- CHOW, V. T., MAIDMENT, D., & MAYS, L. (1994). *Hidrología aplicada* (McGraw-Hill Ed.).
- CONAGUA. (2003). *Registros de campo. Análisis fisicoquímicos del agua del río Mololoa*. Tepic, Nay.: Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA. (2013). *Estudio de Delimitación de la Zona Federal del Río Mololoa en una longitud de 20 km., Municipio de Tepic, Nayarit*. Tepic Nayarit: Informe Final Interno.
- CONAGUA. (2015). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero alle de Matatipac (1804), Estado de Nayarit. Diario Oficial de la Federación, 20 de abril del 2015: Comisión Nacional del Agua. Subgerencia General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos.
- CONTRERAS, J. M. (2003). Textiles y actividad empresarial en el Territorio de Tepic (siglo XIX). *Antropología: boletín oficial INAH*(72), 86-92.
- COVARRUBIAS-DORADO, I. (2016). *Evolución del crecimiento de la zona metropolitana Tepic-Xalisco, Nayarit; periodo 1970-2010*. (Maestría), Universidad Autónoma de Nayarit.
- DEMOCRACIA, L. (1901). El saneamiento de la ciudad de Tepic, *La Democracia*.
- DIARIO EL PACÍFICO. (1976). LAS OBRAS DEL RÍO MOLOLOA EVITARÁN INUNDACIONES: RH, *Diario el Pacífico*. Retrieved from <https://hemerotecanayarit.com/index.php/hace-40-anos/759-las-obras-del-rio-mololoa-evitaran-inundaciones-rh>
- DOF. (1975). DECRETO por el que se reserva en favor del Municipio de Tepic, Nay., una superficie aproximada de 200 hectáreas, que será ganada con las obras de rectificación y encauzamiento del Río Tepic o Mololoa. México, D.F.: 10/12/1975.
- EL OBSERVADOR DE NAYARIT. (1976). Iniciaron las obras de rectificación en el Mololoa, *El Observador de Nayarit*. Retrieved from <https://hemerotecanayarit.com/index.php/hace-40-anos/693-iniciaron-las-obras-de-rectificacion-en-el-mololoa>

-
- GONZÁLEZ, S. L. S. (2019). *Desigualdades socioterritoriales de la zona metropolitana Tepic.* (Doctorado), Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco.
- HERRERA-LEÓN, W. H., PACHECO-MARTÍNEZ, J., HERNÁNDEZ-MARÍN, M., PADI-LLA-CENICEROS, R., & PEREZ-REA, M. D. L. L. (2018). Land subsidence and its effects on the urban area of Tepic City, México. *WIT Transactions on The Built Environment*, 179, 369-380.
- IMPLAN-TEPIC. (2000). *Plan de Desarrollo Urbano de Tepic 2000-2020.* Tepic, Nayarit: Municipio de Tepic Obtenido de https://implantepic.gob.mx/planes_programas/PDU2000-2020.pdf.
- INEGI. (1984). *Geología de la República Mexicana.* México, D.F.: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825230968/702825230968_1.pdf.
- INEGI. (2004). *Guía para la Interpretación de Cartografía Edafología.* Aguascalientes, Ags.: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231736/702825231736_1.pdf.
- INEGI. (2005). SIATL. Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas. from https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/
- INEGI. (2013). *Conjunto de Datos Vectorial Edafológico Escala 1:250,000 serie II, Tepic F13-8.* Aguascalientes, Ags.: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/#Descargas>.
- JÁUREGUI MEDINA, C., RAMÍREZ HERNÁNDEZ, S., ESPINOSA RODRÍGUEZ, M. Á., TOVAR RODARTE, R., QUINTERO HERNÁNDEZ, B., & RODRÍGUEZ CASTAÑEDA, I. (2007). Impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del río Mololoa (Nayarit, México) y propuestas de solución. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 3(1), 65-73.

- LA DEMOCRACIA. (1901, 2 de octubre de 1901). Saneamiento de Tepic, *La Democracia*. Retrieved from <https://hndm.iib.unam.mx/consulta/resultados/visualizar/558a331f7d1ed64f16908683?resultado=1&tipo=página&intPagina=2&palabras=paludismo>
- LUNA, J. P., & JARQUÍN, A. M. I. (2012). *El río Mololoa: Motor de la industria tepiqueña en el siglo XIX*.
- MORÁN, C. A. (1988). *La industria eléctrica en México y su desarrollo en el estado de Nayarit*. Tesis. (Licenciatura), Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit.
- NAVARRETE, L. (2020). *El río Mololoa: la construcción polisémica del paisaje fluvial urbano en Tepic, Nayarit*. (Doctor), Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit.
- ORTIZ VEGA, M. I., CAN CHULIM, Á., ROMERO BAÑUELOS, C. A., CRUZ CRESPO, E., & MADUEÑO MOLINA, A. (2019). Calidad del agua para uso agrícola del río Mololoa, México. *Terra Latinoamericana*, 37(2), 185-195.
- POE. (1891). *Condiciones hidrográficas del territorio de Tepic*. Tepic, Nayarit: Obtenido de <https://hndm.iib.unam.mx/consulta/resultados/visualizar/558a36ae7d1ed64f16cc1228?resultado=1&tipo=página&intPagina=3&palabras=mololoa>
- POE. (1976). *Autorización al Ejecutivo del Estado para gestionar y contratar con el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos S.A. un crédito para la rectificación del cauce del Río Mololoa*. Tepic, Nayarit: Periódico Oficial del Estado.
- RANTZ, S. E. (1982). Measurement and computation of streamflow *Water Supply Paper*, 2175 (Vol. 1-2): U. S. Geological Survey.
- RICHARDS, L. (1990). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos: Manual No. 60* (Limusa Ed.). México, DF: Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América.
- SEDATU. (2014). *Atlas de Riesgos del Municipio de Tepic, Nayarit*. Tepic, Nayarit: Secretaría de Desarrollo Agrario territorial y Urbano.

-
- SEMARNAT. (1996). *NOM-001-SEMARNAT- 1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.* México, D.F. 23 de abril del 2003: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (1997). *NOM-001-ECOL-1996. Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales.* Ciudad de Mexico, D.F. Enero 06, 1997: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación Obtenido de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4863829&fecha=06/01/1997.
- SEMARNAT. (2003). *NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.* México, D.F.: Diario Oficial de la Federación Obtenido de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003&print=true.
- SGM (Cartographer). (1998). Carta geológico-minera Tepic F13-D21 escala 1:50,000 Retrieved from http://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/905_F13-D21_GM.pdf
- SOZ, S. A., KRYSPIN-WATSON, J., & STANTON-GEDDES, Z. (2016). *The Role of Green Infrastructure Solutions in Urban Flood Risk Management:* The World Bank Group.
- SPP. (1981). *Síntesis Geográfica de Nayarit.* México, D.F.: Obtenido de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220532/702825220532_1.pdf.
- UNDRR. (2015). *Chart of the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030.* Organización de las Naciones Unidas Obtenido de <https://www.preventionweb.net/publication/chart-sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>.

.....

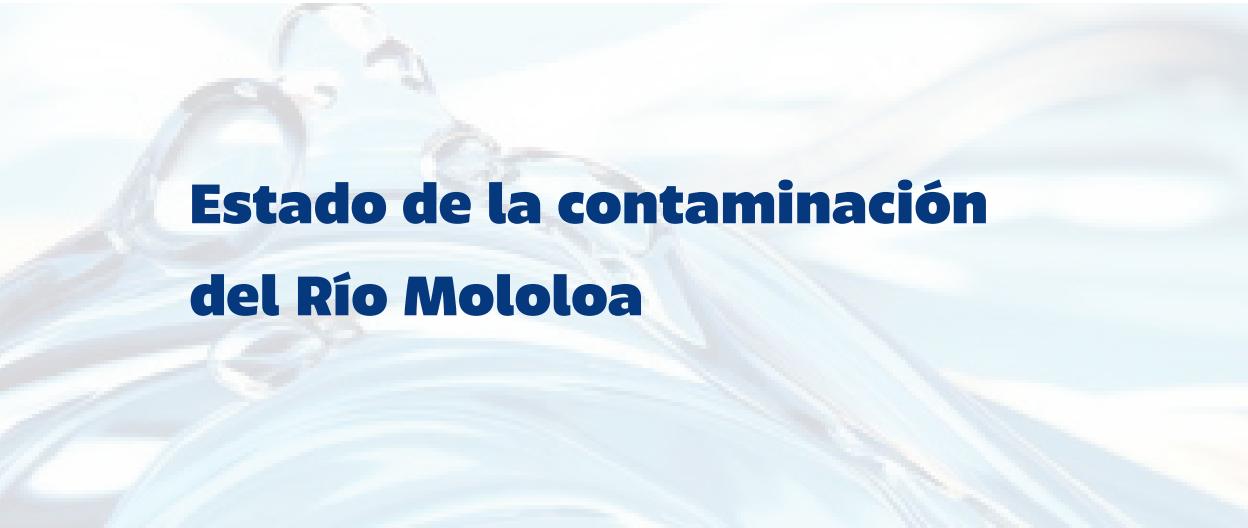
UNDRR. (2021). *International Cooperation in Disaster Risk Reduction. Target F*. Switzerland: United Nations Office for Disaster Risk Reduction Obtenido de <https://www.preventionweb.net/publication/international-cooperation-disaster-risk-reduction-target-f>.

UNDRR. (2022). The Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. Retrieved 1 de Julio del 2022, 2022, from <https://www.undrr.org/implementing-sendai-framework/what-sendai-framework>



TERCERA PARTE

**Propuesta de saneamiento
del río Mololoa**



Estado de la contaminación del Río Mololoa

*Marco Antonio Garzón Zúñiga¹, Dr. Juan Manuel Vigueras Cortes²
y Dr. Eduardo Sánchez Ortiz³*

En este capítulo se hace una revisión de las condiciones y las fuentes de contaminación del río Mololoa, se hace una descripción general para enseguida abordar lo que se sabe de diversos trabajos acerca de los comportamientos que esta condición ha seguido, tomado en cuenta la intencionalidad y alcance de los documentos en cuestión, posteriormente se aborda la condición de los sistemas de tratamiento de aguas residuales encontrada a partir de 2020 y hasta 2022, ahí se refleja la circunstancia tanto estructural como administrativa que condicionan el estado del saneamiento en la cuenca.

¹ Investigador, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Durango. Instituto Politécnico Nacional. Correo electrónico: magrzon@ipn.mx

² Investigador, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Durango. Instituto Politécnico Nacional. Correo electrónico: mviguer@ipn.mx

³ Investigador, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Durango. Instituto Politécnico Nacional. Correo electrónico: esanchezo@ipn.mx

Contaminación del río Mololoa

El deterioro de la calidad del agua del río Mololoa es un tema que ha sido abordado desde diversos enfoques y es sin duda la más recurrente de las preocupaciones en particular a su paso por la ciudad de Tepic, Nayarit.

La cuenca aportadora nace al sur de la ciudad de Tepic en el parteaguas que delimita la caldera del volcán Tepetiltic y se desarrolla ligeramente hacia el noroeste a lo largo de 58 km en los cuales va concentrando las aportaciones que recibe del volcán Sangangüey y el volcán San Juan que delimitan el parteaguas en los bordes oriental y septentrional, respectivamente.

El río Mololoa se va conformando con los escurrimientos de la parte sur de la cuenca a unos 25 km del parteaguas más al sur se encuentra con la zona conurbada de Xalisco y Tepic. A lo largo de esos 25 km en la ribera del río o en sus dendritas se localizan las comunidades de San Leonel, La labor, Trigomil, Pantanal y San Cayetano.

Al cruzar Tepic, el río Mololoa adquiere un papel protagónico en la ciudad integrándose al paisaje urbano en un parque lineal que cuenta con algunos puentes para unir las riberas y en ocasiones convirtiéndose en zona de riesgo por inundaciones o en estiaje en una fuente de aromas producto de la gran carga orgánica que es vertida en sus aguas.

Estudios previos

Ya algunos analistas han revisado la condición de contaminación del río Mololoa y concluyen que la mayor parte de las aportaciones de contaminantes provienen de la zona conurbada de San Cayetano, Xalisco y Tepic.

El primer documento que analiza de forma puntual la situación de la contaminación del río Mololoa es el publicado en el 2017 por Ortiz Vega, Can Chulim, Romero Bañuelos, Cruz Crespo, and Madueño Molina (2019) enfocándose en la contaminación agrícola. Se evaluó la calidad del agua en 12 sitios de muestreo a lo largo del cauce del río Mololoa muestreados mensualmente. El primer punto muestreado está ubicado aguas arriba del poblado de La labor; los puntos 2,

3 y 4 están distribuidos a lo largo del río Mololoa antes de la ciudad de Tepic; los sitios 5, 6 y 7 dentro de la ciudad de Tepic; los sitios 8 y 9 aguas debajo de la ciudad de Tepic ya en terrenos agrícolas de riego semipermanente. Durante el ciclo anual en 2016, se encontró un pH promedio de 7.5 (alcalino), con valores mínimos de 6.3 y máximos de 8.9, por arriba de los valores recomendados para aguas de uso agrícola que van de 5.5 a 6.5 en el que la mayoría de los iones se encuentran disponibles para ser aprovechados por las plantas. En estiaje el pH fue alcalino con promedio de 7.7, mínimo 6.3 y máximo 8.9; en lluvias fue neutro con promedio de 7.3, mínimo 6.5 y máximo 7.8. Por su parte la concentración de sales solubles en el agua se obtuvo a partir de la medición de conductividad eléctrica cuyo promedio fue de 304 (mínimo 139 y máximo 831 mS cm⁻¹).

De acuerdo a la clasificación de Richards (1990) reporta que el 50.7% de las muestras se clasificaron como C1 (salinidad baja), 48.6% C2 (salinidad media) y 0.7% C3 (salinidad alta). Considerando el criterio de la salinidad efectiva (SE), 131 muestras se clasificaron como de muy buena a buena calidad, ocho de buena a peligrosa y una como peligrosa a muy peligrosa; los valores de la relación de absorción de sodio (RAS) fueron en promedio 1.6, mínima 0.3 y máxima 4.4. El carbonato de sodio residual (CSR) indica que en promedio durante el año el 97% de las muestras de agua son de buena calidad para uso agrícola y únicamente el 3% condicionadas, sin embargo, durante la época de lluvias el 100% se consideran de buena calidad. Conductividad eléctrica, Salinidad Efectiva, Relación de Adsorción de Sodio y Carbonato de Sodio Residual en el periodo de estiaje, con el valor más alto en el mes de mayo en el sitio La Escondida, que es el punto en el cual se puede detectar el efecto de todas las descargas de agua residual de la ciudad de Tepic y del relleno sanitario El Iztete.

El estudio concluye que la calidad del agua desde la cuenca alta y hasta antes de la descarga del Pantanal (sitios de muestreo 1 a 3) se clasifica como de buena calidad ya que aún no se integra el agua proveniente de los asentamientos humanos.

A partir de ahí (sitios 4 al 8) se observa un deterioro de la calidad debido al vertido de aguas residuales parcialmente tratadas y algunas sin tratar de los poblados que componen la mancha urbana que integran los poblados de Corregidora, San Cayetano, El Verde, La Cantera y las ciudades de Xalisco y Tepic, a los que hay que sumar los escurrimientos provenientes del relleno sanitario El Iztete.

Los resultados de estos análisis muestran que, durante el estiaje, en el mes de mayo en particular, con la reducción del gasto de escurrimiento natural del río, se observa un aumento en la concentración iónica total alcanzando su máximo en todo el trazo del río Mololoa. Sin embargo, el sitio que reporta los mayores valores de conductividad eléctrica en este mes es La Escondida (sitio 8) ubicado aguas abajo de las zonas urbanas.

En términos del potencial de uso de esta agua para el riego agrícola, en la parte alta de la cuenca es aceptable y en la parte baja representa riesgos de salinización de suelos, efectos físicos en los mismos y afectación a los cultivos por consecuencia, por lo que no se recomienda su uso sin un adecuado tratamiento, particularmente durante el mes de mayo.

Si bien, se identificó desde hace varios años el ingreso de agua residual tratada y sin tratar al lecho del río Mololoa. Zúñiga-Altamirano (2003) señala que en esa fecha existía una cobertura de alcantarillado del 88% con una red de atarjeas de 20 cm de diámetro, aunque no señala problemas de capacidad de los colectores en operación con el agua residual doméstica. Sin embargo, advierte que para el 2010 los que integran la red primaria, principalmente El Matatipac, H. Provincia, Morelos, Santa Teresa y Noreste serán rebasados en su capacidad.

Refiere además las descargas de tipo industrial más peligrosas como son el ingenio azucarero, las refresquerías y la producción de lácteos.

En cuanto a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) existente (El Punto), construida para tratar 350 Lps refiere que ha sido rebasada y que el proceso no cumple de forma particular cuando el ingenio descarga aguas

fuera de las condiciones normales de operación (Volúmenes mayores puntuales, unidades saturadas de sedimentos). Independientemente de lo anterior la descarga de agua tratada no cumple con las condiciones particulares de descarga al río Mololoa, debido a la necesidad de un proceso secundario de tipo biológico. Menciona además que se encuentra limitada para el crecimiento espacial ya que cuenta con solamente 3.8 hectáreas de espacio utilizable.

El tratamiento insuficiente e inadecuado de las aguas residuales municipales fue abordado con mayor detalle por Jáuregui Medina et al. (2007) en el que evaluó el impacto de las descargas de aguas residuales en el río y la eficiencia de la planta de tratamiento existente.

El documento consigna los siguientes valores para los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Nitrógeno amoniacal (N-NH₃), Fósforo Total y Coliformes totales, todos ellos indicadores de la calidad del agua, para muestras de agua tomadas del río Mololoa durante el mes de febrero del 2003 por la Conagua (CONAGUA, 2003) (Tabla 1).

El índice de calidad de agua ICA, propuesto por Conagua y utilizado para indicar el grado de contaminación de un cuerpo de agua indicó que para los años 1992, 1994, 1996 y 2000 a la altura del Pantanal antes de entrar a la ciudad de Tepic fue en promedio para esos 4 muestreos de 62.5% lo que se interpreta como agua levemente contaminada pero utilizable en la mayoría de los cultivos (Jáuregui Medina et al., 2007).

Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos medidos en el agua descargada al río Mololoa. Obtenidos de Jáuregui Medina et al. (2007).

Parámetro	Descarga vertida a la altura de la presa El Punto	Descarga del efluente de la PTAR
DBO ₅ (mg/L)	187.4	117.4
N-NH ₃ (mg/L)	18.19	9.71
Fósforo Total (mg/L)	2.61	0.98

Parámetro	Descarga vertida a la altura de la presa El Punto	Descarga del efluente de la PTAR
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	2.4×10^{10}	2.4×10^{10}
NMP. Número más probable		

Los autores reportan DBO, oxígeno disuelto, temperatura y gasto para diversos puntos a lo largo del río Mololoa medidos en el agua durante la temporada de estiaje en el mes de abril. (Tabla 2)

Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos descargados al río Mololoa durante el mes de abril (estiaje). Reportados por (Jáuregui et al., 2007).

Sitio de muestreo	DBO (mg/L)	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	Gasto (Lps)
Puente el Itzete	6.5	5.4	21.5	431
Presa el Punto	6.2	5.1	21.5	431
Aguas arriba de Descarga Municipal 1	175	0.6	32	703
Aguas abajo de Descarga Municipal 1	110.3	0.2	28	
Efluente de PTAR	160.1	0.5	32	597
Aguas debajo de descarga de PTAR	123.8	0.2	22.7	1731

Concluyen que las aguas residuales municipales generan el mayor de los impactos en la calidad del agua del río Mololoa debido a que el tratamiento que reciben es insuficiente e inadecuado para el volumen de agua residual generado. Se requiere que se implemente en la PTAR la infraestructura necesaria y el sistema de tratamiento adecuado para depurar todo el volumen generado. Recomiendan establecer un sistema de indicadores en la subcuenca que permitan dar seguimiento a la disponibilidad del recurso, su calidad, abasto y la evaluación del desempeño de la toma de decisiones de los organismos operadores y normativos.

Condición actual de las aportaciones contaminantes al río Mololoa

La red dendrítica que proviene de la cuenca va construyendo un flujo de aportaciones que antes de llegar a la zona urbanizada su origen es principalmente de escurrimiento natural y de retorno de riego. Más adelante, hacia aguas abajo, se incorporan aguas residuales de origen doméstico y de uso industrial proveniente de las empresas procesadoras de frutas y de caña de azúcar y algunas de origen animal producto de la cría de ganado, en particular cerdos y vacunos.

La cobertura de agua potable y drenaje de origen urbano e industrial generadas en las localidades a lo largo del recorrido del río Mololoa, en orden descendente, desde la cuenca alta se muestran en la (Tabla 3).

Cobertura de agua potable y drenaje para los habitantes de las localidades ubicadas dentro de la cuenca del río Mololoa, ordenadas de aguas arriba a aguas abajo.

Elaboración propia.

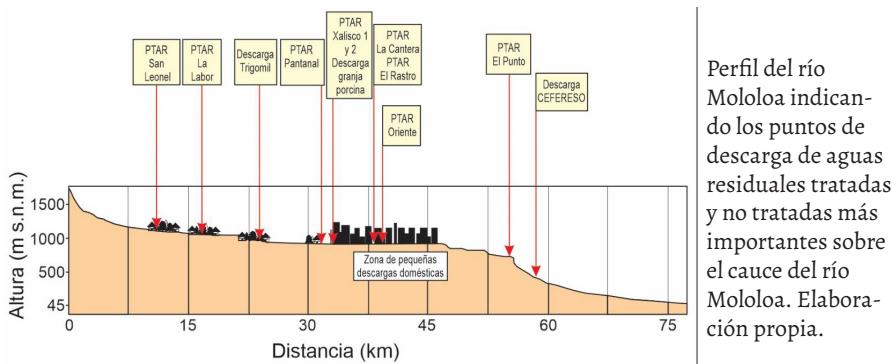
Municipio	Localidad	Población (hab.)	Cobertura agua potable (%)	Cobertura drenaje (%)
Santa María del Oro	San Leonel	666	71.4	70.6
Santa María del Oro	La Labor	2,774	78.3	80.3
Xalisco	Aquiles Serdán	1,024	79.7	80.0
Xalisco	Trigomil	643	81.5	82.0
Xalisco	Testerazo	2,410	88.1	86.5
Tepic	El Refugio	907	78.6	78.3
Xalisco	Pantanal	3,231	81.3	84.2
Tepic	La Corregidora	1,089	66.6	72.8
Xalisco	Xalisco	35,702	74.5	75.5
Tepic	San Cayetano	4,345	79.8	83.0
Tepic	El Verde	819	55.6	67.9
Tepic	Camichín de Jauja	2,358	79.0	78.2
Tepic	Tepic	332,863	77.5	78.7

Municipio	Localidad	Población (hab.)	Cobertura agua potable (%)	Cobertura drenaje (%)
Tepic	La Escondida	422	75.0	69.1
Tepic	CEFERESO	1,362	100.0	100.0
Tepic	Cerro de los Tigres	141	71.4	28.6
Tepic	Las Pilas (El Tepeguaje)	186	79.6	77.6
Tepic	Los Salazares	333	74.1	66.1
	TOTAL	391,275	77.3*	78.4*

* promedio

La cuenca a lo largo del desarrollo del río Mololoa está equipada con una serie de PTARS con diversas condiciones de operación, muchas de ellas inactivas, por lo que los aportes de contaminantes al río Mololoa se vuelven significativos en particular en las zonas donde la población es mayor.

En este sentido, si analizamos un perfil por el cauce principal del río Mololoa nos encontraremos una serie de aportaciones de aguas residuales producto de la actividad humana desde el km 8 con la PTAR en San Leonel hasta la última en el km 58 donde se incorpora la descarga del CEFERESO (Figura 1).



La capacidad instalada de forma proporcional a la población servida refleja un perfil que concentra, entre los kilómetros 33 y 48 de la corriente del río Mololoa, las de mayor capacidad, generando una zona de alta presión.

Sin embargo, esto no significa que el río se encuentre contaminado en esta extensión, si consideráramos la capacidad de asimilación del río ante la presencia de contaminantes medidos como miligramos por litro de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), en realidad los impactos por descargas de aguas residuales son aceptables en tanto el río tiene la posibilidad de asimilarlos.

Las descargas más importantes en la parte alta de la cuenca al sur de ésta son aguas tratadas vertidas por la PTAR de la localidad rural de San Leonel, con poco más de 660 habitantes se trata de una PTAR a base de lagunas facultativas sin pretratamiento de agua a su ingreso cuyo efluente es vertido a un arroyo que conecta con el río Mololoa. Su diseño, aunque con defectos, permite una reducción importante de la carga orgánica que recibe generando una descarga mitigada que no resulta de gran importancia a la corriente del río.

La segunda descarga importante son aguas tratadas de la primera ciudad media, el poblado de La Labor, de la cuenca con un poco más de 2,700 habitantes. Se trata de lagunas facultativas compuestas de un tren de dos lagunas en serie sin pretratamiento. Se observa flujo en corto circuito y áreas con flujo nulo (zonas muertas) principalmente en la porción oriental de la laguna con mayor superficie.

Aguas debajo de este punto, se encuentran una serie de descargas de aguas residuales crudas de las localidades de Aquiles Serdán (1,024 hab.), Trigomil (643 hab.), Testerazo (2,410 hab.) y El Refugio (907 hab.) estas son depositadas en los afluentes del río Mololoa. La suma de estos impactos comienza a hacer perceptible la contaminación en los tramos cercanos, pero se mantiene en niveles bajos aún, entre todas las localidades aportan del orden de 4 toneladas diarias de DBO5.

Más aguas abajo, a la altura del aeropuerto internacional se localiza el poblado El Pantanal cuyo sistema de tratamiento consiste en una laguna faculta-

tiva compuesta de un tren de tres lagunas en serie. No cuenta con suficientes cajas de intercambio que le permitan mantener un flujo uniforme en toda la superficie de la laguna, presentando zonas muertas (flujo nulo) que reducen la capacidad de tratamiento de la laguna. Finalmente, la PTAR no dispone de un sistema de postratamiento. Como todo sistema facultativo cuenta con las bondades de los sistemas naturales con lo que su operación, aunque deficiente mitiga los aportes de los más de 3,230 habitantes que sirve (unas 2.5 ton diarias), nuevamente se tratan de impactos que podrían ser relativamente asimilables por el río Mololoa.

Sin embargo, esta situación se complica verdaderamente a partir del kilómetro 33 donde se recibe el primer impacto fuerte con 6,864 toneladas de DB05 por día, proveniente del efluente de dos plantas de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico, las PTAR Xalisco 1 y Xalisco 2 cuyo origen es la parte urbana de la localidad de Xalisco que cuenta con 35,700 habitantes, (Tabla 4).

Una de ellas la PTAR Xalisco 1 es un proceso de filtro percolador el cual consta de un tren de tratamiento, como sigue: Tanque de sedimentación y homogeneización, filtros percoladores con cama de tezontle, sedimentación secundaria y desinfección. Tiene algunos problemas de diseño, por ejemplo, la granulometría del filtro, que incorpora desde partículas muy finas hasta trozos muy grandes, esto impide un adecuado comportamiento del material filtrante. Otro indicador de que la PTAR no fue diseñada adecuadamente son las altas variaciones en la remoción del DQO y el DB05 durante períodos de tiempo prolongados, reportados por la Conagua.

La PTAR Xalisco 2 cuenta con una capacidad de diseño total de 210 Lps con un sistema de con tres módulos de discos biológicos de 70 Lps por módulo. Cada tren de tratamiento del proceso está constituido por un tratamiento primario con rejillas auto-limpiables o mecanizadas, en seguida el propio sistema de biodiscos, le sigue un reactor anaerobio-anóxico, un sedimentador secundario y finalmente un sistema de cloración. La PTAR reduce su eficiencia ya que recibe caudales superiores a su capacidad de tratamiento desde la red

de alcantarillado rebasando los límites de diseño, con lo que su eficiencia física se ve comprometida. Sin embargo, uno de los problemas más importantes es el costo de operación, principalmente relacionado con el costo de la energía eléctrica, por lo que tiene que parar su funcionamiento al no contar con recursos para cubrir los costos.

Evaluación de la eficiencia bioquímica de las PTAR Xalisco 1 y 2.

Parámetro	Influente	Efluente	Eficiencia	Carga orgánica vertida al río Mololoa
	mg/L	mg/L	%	Ton/d
	Caudal tratado 60 Lps (5,184 m ³ /d)			
DBO ₅	436	435	0.23	2,255
DQO	689	543	21.19	2,815
NT	101	66	34.65	342
PT	39.1	28.1	28.13	146
CF	5.40E+07	9.00E+03	99.98	46.7E+04
Caudal sin tratar 90 Lps (7,776 m ³ /d)				
DBO ₅	436	436	0	3,390
DQO	689	689	0	5,358
NT	101	101	0	785
PT	39.1	39.1	0	304
CF	5.40E+07	5.40E+07	0	4.20E+08
Coliformes Fecales (CF) en (NMP/100 mL).				

A estos dos importantes impactos se suma una granja criadora de cerdos que aporta un pequeño volumen de agua residual cruda (sin tratamiento alguno), pero con tal carga contaminante que es incluso mayor a la que aportan las PTAR

de Xalisco (Tabla 5), en conjunto en ese solo punto se recibe el 25% del total contaminante vertido en el río Mololoa (6,864 toneladas diarias de DBO5) (Tabla 6).

Comparación de la calidad del agua residual cruda descargada al río Mololoa en la PTAR Xalisco y en la granja Porcina (datos de octubre de 2020). Elaboración propia.

Parámetro	Entrada de agua residual cruda PTAR Xalisco	Descarga de agua residual porcina cruda	Límite NOM-001-SEMARNAT-1996	CNom
	mg/L	mg/L	mg/L	
DQO*	689	38,500	*	**
DBO ₅	436	9,404	30	NO
SST	780	9,740	40	NO
NT	101	750	15	NO
PT	39	530	5	NO
CF	2.70E+07	6.30E+07	1.0E+03	NO

*No Aplica, pero un valor igual o menor que 100 mg/L es adecuado. **No aplica, pero el valor obtenido es muy alto. CF en (NMP/100 mL). CNom: Cumple con la norma.

Evaluación de la calidad del agua de la descarga de la Granja Porcina «El Refugio». Elaboración propia.

Parámetro	Influente	Efluente	Eficiencia	Carga orgánica vertida al río Mololoa
	mg/L	mg/L	%	Ton/d
Caudal sin tratar 1.5 Lps (129.6 m ³ /d)				
DQO	38,500	38,500	0	4,989
DBO ₅	9,404	9,404	0	1,218

NT	750	750	0	97
PT	530	530	0	68
CF	6.30E+07	6.30E+07	0	8.16E+06
Coliformes Fecales (CF) en (NMP/100 mL).				

A partir de este punto la contaminación de la corriente simplemente se va acumulando, a unos cuantos kilómetros, ya en la ciudad de Tepic, se recibe otro impacto, no valorado aún, que corresponde al rastro de la ciudad, que al igual que la granja de cerdos se trata de un volumen de agua muy pequeño (1 Lps), pero con una altísima carga contaminante en términos de DBO_5 , dado su origen.

En ese mismo punto por la margen derecha se descargan las aguas residuales de la PTAR La Cantera, la cual da servicio a la parte sur oriente de la ciudad de Tepic, una zona en gran crecimiento, su sistema de tratamiento cuenta con dos procesos de tratamiento uno es de lodos activados con aireación extendida con una capacidad de 90 Lps y otro de biodigestores con una capacidad menor de 30 Lps. El crecimiento de esta parte de la ciudad superó la capacidad de la PTAR y actualmente reciben 30 Lps adicionales que son transferidos a la PTAR Oriente. Esta planta no está en operación así que son descargados sin tratamiento al río Mololoa.

Las mediciones realizadas en 2020 en este sistema de biodigestores no reflejan una mejora significativa en el tratamiento (Tabla 7). Los registros históricos revelan que la PTAR La Cantera ha tenido un comportamiento estable durante sus años de operación, sin embargo, el crecimiento de la demanda sobre ella y los problemas de mantenimiento, aunque no han suspendido su operación le han ido reduciendo su eficiencia de remoción.

Evaluación de eficiencia bioquímica de la PTAR La Cantera y carga orgánica vertida al río Mololoa. Elaboración propia.

Parámetro	Influente	Efluente	Eficiencia	Carga orgánica vertida al río Mololoa
	mg/L	mg/L	%	Ton/d
	Caudal tratado 90 Lps (776 m ³ /d)			
DQO	318	84	73.58	653
DBO ₅	444	85	80.86	660
NT	48	18	62.50	139
PT	18.2	7.4	59.34	57
CF	5.40E+07	9.00E+03	99.98	7.00E+04
	Caudal sin tratar 30 Lps (2,592 m ³ /d)			
DQO	318	318	0	824
DBO5	444	444	0	1,150
NT	48	48	0	124
PT	18.2	18.2	0	47
CF	5.40E+07	5.40E+07	0	1.40E+11
Coliformes Fecales (CF) en (NMP/100 mL).				

Un poco más adelante se encuentra una PTAR que fue emblemática para el sistema de saneamiento de Tepic, la PTAR Oriente que contó con inauguración presidencial en 2011, con una capacidad de diseño de 250 Lps consta de tres trenes de biodiscos, sedimentadores en cada uno y al final dos clarificadores, uno primario y uno secundario y al final un tanque de cloración, la PTAR Oriente presenta dos épocas, su primer año de operación es bastante estable en cuanto a su eficiencia, sin embargo, el segundo y tercero presenta una variabilidad muy amplia en su eficiencia alrededor del 40% y en ocasiones con mínimos (Tabla 8).

**Evaluación de la calidad del agua de la descarga no tratada por la PTAR
Oriente y carga orgánica vertida.**

Parámetro	Influyente	Efluente	Eficiencia	Carga orgánica vertida al río Mololoa
	mg/L	mg/L	%	Ton/d
	Caudal tratado 250 Lps (21,600 m ³ /d)			
DQO	318	318	0	6,868
DBO5	444	444	0	9,590
NT	48	48	0	1,036
PT	18.2	18.2	0	393
CF	5.40E+07	5.40E+07	0	1.17E+09
Coliformes Fecales (CF) en (NMP/100 mL).				

Por último, la PTAR más importante en el sistema de saneamiento de Tepic es El Punto, la cual consta de tres trenes de tratamiento con el proceso de filtro rociador (o percolador) con una capacidad de diseño de 800 Lps. Posee un sistema de pretratamiento constituido por un desvío de aguas crudas excedentes que se usan para riego de cañaverales, un cribado mecánico y desarenador. Enseguida del pretratamiento, la PTAR fue construida con 3 trenes de tratamiento iguales, compuestos por sedimentador primario, filtro rociador, sedimentador secundario y cloración.

El sistema es antiguo y en los intentos por mantenerlo en operación, uno de los trenes fue convertido como en un proceso que consta de cribado, generador de energía eléctrica con agua residual cruda, biodigestor, filtro rociador, sedimentador secundario, tanque de aireación y cloración.

De tal forma que solo dos de los trenes mantienen la configuración original, sin embargo, uno de ellos no está en funcionamiento porque diversos de sus equipos están descompuestos y por falta de mantenimiento de la línea en su conjunto.

El tren de tratamiento en funciones fue evaluado en sus condiciones actuales encontrando que su funcionamiento es muy deficiente (Tabla 9) lo que provoca que la concentración de los diferentes contaminantes del efluente descargado al río Mololoa están muy por arriba de los límites máximos permitidos por la normatividad mexicana, particularmente la NOM-001-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT, 1996).

La infraestructura instalada para el tratamiento de lodos por digestión, deshidratación y espesamiento está completamente abandonada por lo que no se cuenta con un programa de gestión adecuado de estos residuos. En este momento están siendo descargados al cauce del río Mololoa sin el cumplimiento de la NOM-004-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT, 2003).

Evaluación de eficiencia bioquímica de la PTAR El Punto y carga orgánica vertida al río Mololoa

Parámetro	Influyente	Efluente	Eficiencia	Carga orgánica vertida al río Mololoa
	mg/L	mg/L	%	Ton/d
Caudal tratado 300 Lps (5,920 m ³ /d)				
DQO	203	92	54.68	2,384
DBO5	398	105	73.62	2,721
NT	42	29	30.95	751
PT	17.3	9.3	46.24	241
CT				
Caudal sin tratar 500 Lps (43,200 m ³ /d)				
DQO	203	203	0	8,769
DBO5	398	398	0	17,193
NT	42	42	0	1,814

PT	17.3	17.3	0	747
CF	5.40E+07	5.40E+07	0	1.40E+11
Coliformes Fecales (CF) en (NMP/100 mL).				

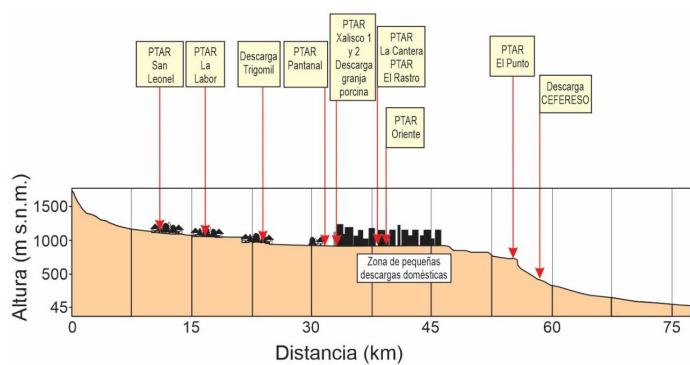
De modo que la contaminación total vertida en el río Mololoa medida en los cuatro parámetros de DBO5, Nitrógeno Total, Fósforo Total y coliformes fecales alcanza totales de 28,288 toneladas diarias de DBO5, 5,832 de nitrógeno total, 2,114 de fósforo total y poco más de 2 millones de coliformes fecales (Tabla 10), esto explica las condiciones de degradación que presenta el río Mololoa en particular en la temporada de estiaje donde el efecto de dilución no mitiga estas cantidades de contaminantes en el cuerpo de agua.

Contaminantes totales vertidos al cauce del río Mololoa hasta la planta de tratamiento El Punto.

Origen	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Nitrógeno total	Fósforo total	Coliformes Fecales
	DBO ₅	NT	PT	CF
	(Ton/d)	(kg/d)	(kg/d)	(NMP/100 mL)
Descarga Porcina sin tratar	1,219	97,200	68,688	6.87E+04
PTAR Xalisco tratada	2,255	342,144	145,670	1.46E+05
PTAR Xalisco sin tratar	3,390	785,376	304,041	3.04E+05
La Cantera tratada	653,184	139,968	57,542	5.75E+04
La Cantera sin tratar	824,256	124,416	47,174	4.72E+04
PTAR Oriente sin tratar	6,868,800	1,036,800	393,120	3.93E+05
PTAR Norte sin tratar	1,923,264	290,304	110,073	1.10E+05
PTAR el Punto tratada	2,384,640	751,680	241,056	2.41E+05

PTAR el Punto sin tratar	8,769,600	1,814,400	747,360	7.47E+05
Contaminantes totales vertidos al río Mololoa	28,287,878	5,382,288	2,114,726	2.11E+06

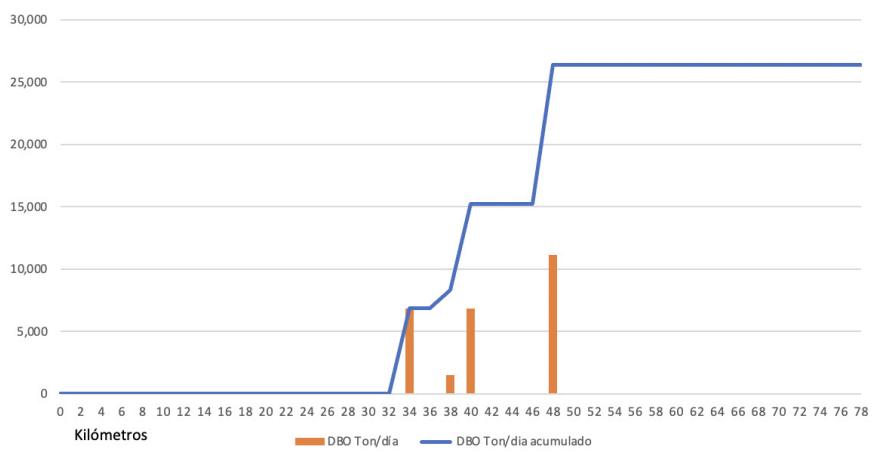
Colocando los puntos más importantes de generación de descargas contaminantes en el río Mololoa, obtenemos el perfil siguiente en el cual podemos notar que la mayor concentración de puntos de vertido están de la cuenca media al final de la parte con menor pendiente con importantes aportaciones de contaminantes en forma de DBO5 (Figura 2). Esto indica el déficit de oxígeno necesario para oxidar y degradar así la materia orgánica que se está entregando al cuerpo de agua, cantidad de oxígeno que de manera natural no puede ser obtenida en un tramo corto con lo que la materia orgánica estará transformándose mediante procesos nocivos para el cuerpo de agua, transformando su química y adquiriendo características toxicas a los organismos vivos.



Perfil de las aportaciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) más importantes sobre el cauce del río Mololoa

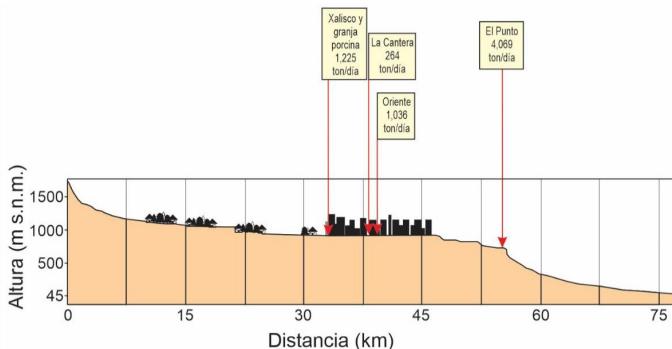
Esta zona de alta presión de descargas contaminantes se inicia con el punto donde convergen las aguas producto de las descargas de aguas residuales de las PTAR Xalisco 1 y Xalisco 2 y las aguas crudas de una granja porcícola que,

aunque el volumen de esta última descarga es pequeño, la carga contaminante es significativa como se muestra enseguida (Figura 3).



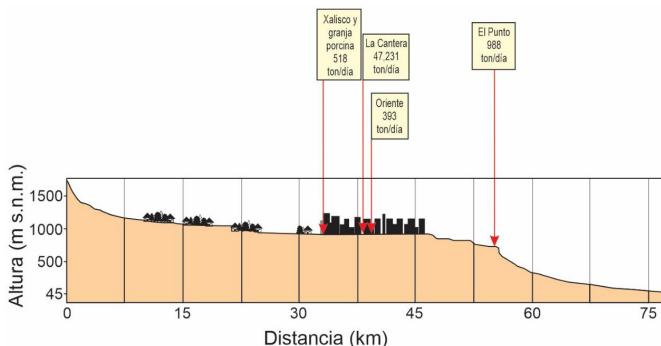
Perfil de carga contaminante vertida en el río Mololoa de agua residual tratada y sin tratamiento en términos de DBO5.

El nitrógeno total mide la cantidad de nutrientes nitrogenados que tienen impacto en los ecosistemas acuáticos ya que son necesarios en el metabolismo de todo organismo vivo, estimulan el crecimiento de fitoplancton y posteriormente el desarrollo de peces y crustáceos, sin embargo, el exceso de los compuestos nitrogenados provenientes principalmente de actividades humanas como es la concentración de excretas en manchas urbanas, el uso de fertilizantes, o bien como residuos de las industrias procesadoras de alimentos tienen como efecto el aumento de la acidez del agua del cuerpo receptor, su eutrofificación y su acumulación adquiere niveles tóxicos para los organismos vivos (Figura 4).



Perfil de las aportaciones de nitrógeno total más importantes sobre el cauce del río Mololoa.

Del mismo modo el fósforo total representa la suma de los compuestos de todas las distintas formas de fósforo, que es otro componente esencial para la vida, y un nutriente esencial en el crecimiento vegetal y animal (Figura 5). Su concentración en exceso en el agua contribuye a la eutrofización favoreciendo el crecimiento excesivo de plantas acuáticas, microalgas y cianobacterias. Contribuye a la contaminación del agua por diversos mecanismos desde los bioquímicos hasta los físicos, como el impedimento de la acción de la luz solar en el cuerpo receptor por la sombra que produce el exceso de plantas, así como la reducción de la oxygenación.



Perfil de las aportaciones de fosforo total más importantes sobre el cauce del río Mololoa

Conclusiones

Distribuyendo espacialmente en el perfil del río Mololoa los distintos indicadores de contaminación producto de las actividades humanas, es posible observar que en el tercio medio del desarrollo del río Mololoa el aporte a la contaminación es de un impacto significativamente mayor a la de los tramos aguas arriba y aguas debajo de la ciudad de Tepic (entre los kilómetros 33 y 47).

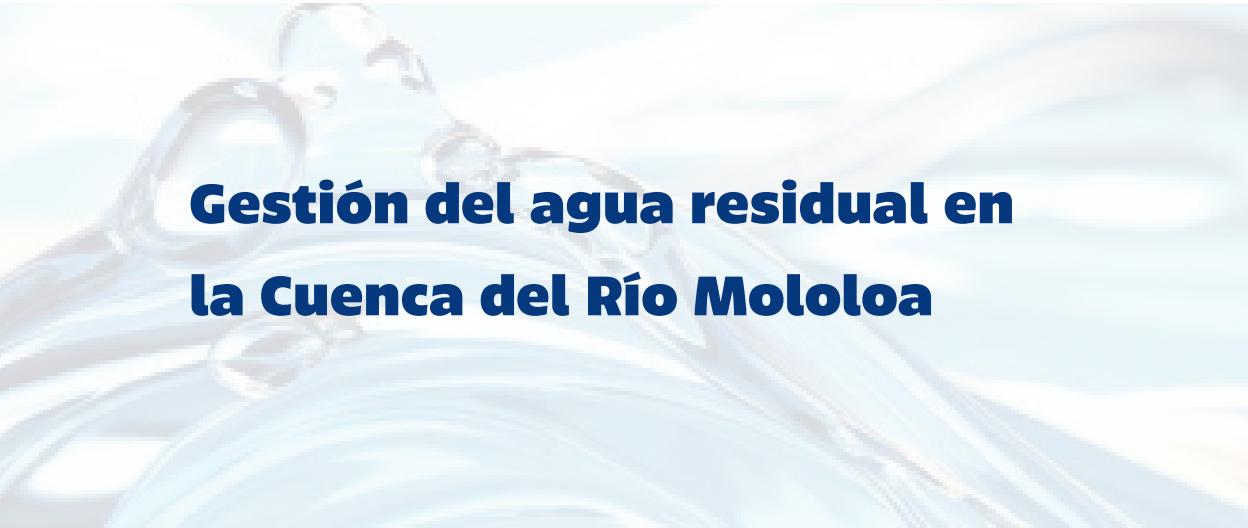
La importancia de controlar las cantidades de contaminantes mediante la puesta en marcha, operación, rehabilitación de las plantas de tratamiento, es de alta relevancia dado que, dada la baja velocidad del río en el tramo de la ciudad de Tepic, afecta la calidad de vida de los habitantes, afecta al paisaje y permite la proliferación de vegetación y fauna nocivas.

Por último, es necesaria una campaña permanente de monitoreo de las condiciones de recuperación del río Mololoa a lo largo de todo su recorrido a fin de evaluar la calidad de la corriente y los efectos de las acciones de reducción de la contaminación que se emprendan, rescatando este espacio urbano ambiental en favor de los habitantes de Tepic, Nayarit.

Referencias

- CONAGUA. (2003). *Registros de campo. Análisis fisicoquímicos del agua del río Mololoa*. Tepic, Nay.: Comisión Nacional del Agua.
- JÁUREGUI MEDINA, C., RAMÍREZ HERNÁNDEZ, S., ESPINOSA RODRÍGUEZ, M. Á., TOVAR RODARTE, R., QUINTERO HERNÁNDEZ, B., & RODRÍGUEZ CASTAÑEDA, I. (2007). Impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del río Mololoa (Nayarit, México) y propuestas de solución. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 3(1), 65-73.
- ORTIZ VEGA, M. I., CAN CHULIM, Á., ROMERO BAÑUELOS, C. A., CRUZ CRESPO, E., & MADUEÑO MOLINA, A. (2019). Calidad del agua para uso agrícola del río Mololoa, México. *Terra Latinoamericana*, 37(2), 185-195.

- RICHARDS, L. (1990). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos: Manual No. 60* (Limusa Ed.). México, DF: Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América.. .
- SEMARNAT. (1996). *NOM-001-SEMARNAT- 1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. México, D.F. 23 de abril de 2003: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (2003). *NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final*. México, D.F.: Diario Oficial de la Federación Obtenido de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003&print=true.



Gestión del agua residual en la Cuenca del Río Mololoa

*Eduardo Sánchez Ortiz¹, Marco Antonio Garzón Zúñiga²
y Juan Manuel Vigueras Cortes³*

Introducción

Este capítulo revisa las condiciones de la gestión de las aguas residuales y su impacto en la generación de contaminación en el río Mololoa a partir de la infraestructura de tratamiento, los efectos de la toma de decisiones de tipo político-administrativo en la suspensión de la operación de los sistemas de tratamiento, y finalmente revisa las posibilidades de reúso como una medida de fortalecimiento de la gestión.

¹ Investigador, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Durango. Instituto Politécnico Nacional. Correo electrónico: esanchezo@ipn.mx

² Investigador, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Durango. Instituto Politécnico Nacional Correo electrónico: magrzon@ipn.mx

³ Investigador, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Durango. Instituto Politécnico Nacional Correo electrónico: mviguer@ipn.mx

Orden de la gestión de las aguas residuales en los tres niveles de gobierno

La gestión de las aguas residuales y tratadas requiere del concierto de los tres niveles de gobierno, en el caso particular del río Mololoa el Gobierno Federal es representado por la Dirección Local Nayarit de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y le son asignadas funciones normativas de la política federal consignada en la Ley de Aguas Nacionales, la cual le otorga la autoridad sobre las concesiones para el vertido las aguas residuales en cuerpos receptores en cuanto al volumen descargado, así como diversas facultades de regulación de la calidad, promoción de su tratamiento y su reúso.

El Gobierno del Estado ejerce a través de la Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado, de acuerdo con la Ley de Agua Potable y alcantarillado de Nayarit, tiene a su cargo la tarea de reducir la contaminación mediante la promoción del establecimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales y manejo de lodo. (artículo 10) y además facultades para determinar qué usuarios están obligados a construir y operar plantas de tratamiento de aguas residuales y manejo de lodos, así como promover la formación de personas morales para tal fin cubriendo las necesidades de varios usuarios.

Los organismos operadores municipales de acuerdo con la misma Ley tienen a su cargo (artículo 22) proporcionar los servicios de agua potable alcantarillado y saneamiento. En este sentido la gestión de las aguas residuales es en realidad una responsabilidad de la coordinación de los tres órdenes de gobierno.

En 2011 se celebró un acuerdo para la operación de las plantas de tratamiento con apoyo del gobierno de estado, la administración de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de la administración 2017 a 2019 inició el proceso de transferir la operación al organismo operador Sistema de agua potable y alcantarillado, a partir de 2017 se pasaron a cargo del gobierno municipal a través del Sistema de agua potable y alcantarillado de Tepic, Nayarit, organismo público descentralizado que depende para su operación de la eficiencia comercial, mediante la generación interna de caja, que proviene de una tarifa media de 7\$

por m³. Esto ha llevado que en particular las plantas de tratamiento ubicadas en la mancha urbana de Tepic hayan presionado en exceso las finanzas del organismo operador al grado de tener que decidir detener la operación de las plantas que le significan un excesivo consumo de energía.

Entonces es notoria la baja eficiencia, las fallas operativas que se reflejan en los históricos de datos de la Conagua, y de plano la suspensión de la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales como se muestra enseguida.

Eficiencia histórica de las plantas de tratamiento en la cuenca del río Mololoa

En la cuenca del Río Mololoa, existen las siguientes plantas de tratamiento, algunas se encuentran fuera de operación, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Inventario de plantas de tratamiento que descargan al río Mololoa.
Elaboración propia.

Nombre	Tipo de planta de tratamiento	Capacidad instalada Lps	Operadores históricos
LO “San Leonel”	Biológico	1.0	Municipio
LO “La labor”	Biológico	2.0	Municipio
LO “Pantanal”	Biológico	2.0	Municipio
PTAR “Xalisco” 1	RAFA	60 hasta 120	Municipio
PTAR “Xalisco” 2	Biodiscos	75	Municipio
PTAR “La Cantera”	Lodos activados	90	Estado/Municipio
PTAR “Oriente”	Biodiscos	250	Estado/Municipio
PTAR del rastro (Cd. Industrial)	Aerobio - Anaerobio	1	No opera
PTAR “El Punto”	Filtros percoladores	800	Estado/Municipio

LO: laguna de oxidación.

Condiciones de las plantas de tratamiento de aguas residuales operadas por los municipios.

PTAR San Leonel.

Se ubica en la localidad de San Leonel en las coordenadas N 21°21.40' y O 104°41.85' (Figura 1).

Es una planta a base de lagunas facultativas, no cuenta con pretratamiento el agua ingresa en una caja repartidora que la envía a dos lagunas de 14 m de lado con una profundidad de 1.2 m que funcionan en paralelo de ahí pasan a una laguna de forma trapezoidal con dimensiones en su lado más largo de 77 al poniente y en el lado oriente 66 m por un ancho de 17 m, posteriormente pasa a una tercer laguna también de forma irregular con lados de 28 m en la parte poniente y 15 en la parte oriente un largo de 16 m para posteriormente ser vertida en el arroyo vecino.



Figura 1. Planta de Tratamiento San Leonel. Tomada de Google Earth INEGI 2021.

Registro histórico de funcionamiento 2016-2019.

No existe registro de funcionamiento histórico para esta PTAR

PTAR La Labor.

Laguna facultativa ubicada en las coordenadas $21^{\circ}22.632'$ N y $104^{\circ}43.794'$ O, compuesta de un tren de dos lagunas en serie con dimensiones de 100 x 36 m y 66 x 36 m, no cuenta con pretratamiento, presenta cortocircuito y zonas muertas en la parte oriente de la laguna mayor (Figura 2).



Figura 2. Planta de tratamiento La Labor. Tomada de Google Earth, INEGI 2021

Registro histórico de funcionamiento 2016-2019.

No existe registro de funcionamiento histórico de esta planta de tratamiento.

PTAR Pantanal.

Laguna facultativa ubicada en las coordenadas $21^{\circ}25.194'$ N y $104^{\circ}51.567'$ O, compuesta de un tren de tres lagunas en serie la primera de 172.5 x 58 m la segunda

de 36 x 105 m y la última de 22 x 57 m, no cuenta con postratamiento, para las dimensiones de la laguna mayor se observan pocas cajas de intercambio, por lo que presenta zonas muertas (Figura 3).



Figura 3. Planta de tratamiento Pantanal. Tomada de Google Earth, INEGI 2021.

Registro histórico de funcionamiento 2016-2019.

No existe registro de funcionamiento histórico de esta planta de tratamiento.

PTAR Xalisco 1 (Biofiltro).

La PTAR Xalisco se encuentra ubicada en las coordenadas 21°26.583' N y 104°52.190' O, el tren de operación es el siguiente: Tanque de sedimentación y homogeneización, filtros percoladores con cama de tezontle (Figura 4), sedimentación secundaria y desinfección. La cama de tezontle estaba constituida por una granulometría muy variada que incluía gran cantidad de polvo de tezontle que provocará un taponamiento muy rápido de la cama y también había fragmentos de tezontle de un gran tamaño que lo que provocan son

cortocircuito del agua (Figura 5) por lo tanto, disminución de la eficiencia de remoción de contaminantes.



Figura 4. Proceso de filtro percolador sobre tezontle en rehabilitación, PTAR Xalisco.
Elaboración propia.



Figura 5. Granulometría deficiente de la nueva cama de tezontle con alta presencia de finos. Elaboración propia.

Registro histórico de funcionamiento 2016-2019.

Los registros de la Conagua muestran un comportamiento errático en la remoción de DQO y de DBO₅ con valores en periodos prolongados por debajo del 70%, lo que habla de una planta de tratamiento con deficiencias en su diseño o en su operación (Figura 6).

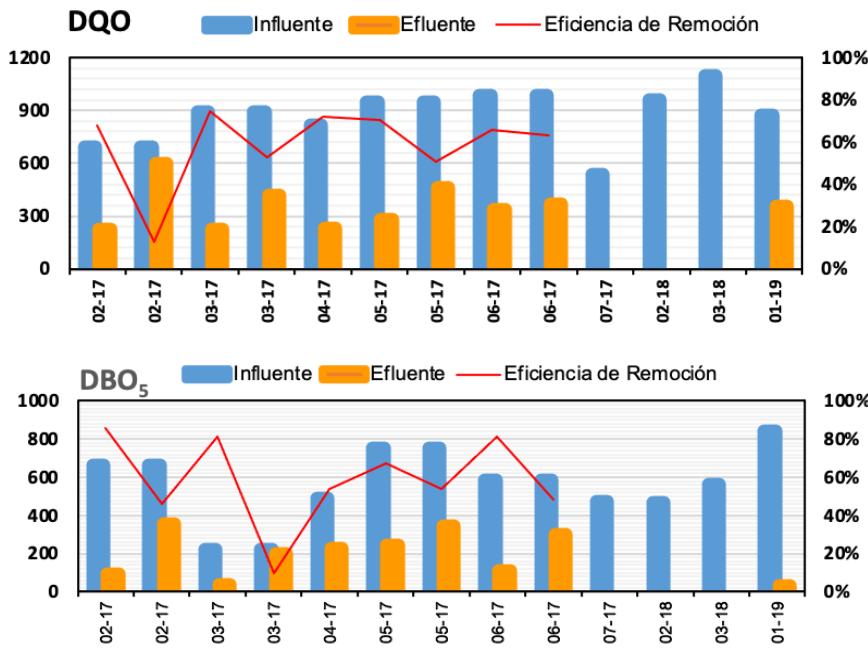


Figura 6. Eficiencia de remoción del año 2016 al 2019 en la PTAR Xalisco. Arriba DQO (mg/L). Abajo DBO₅ (mg/L). Elaboración propia con información de la Conagua.

Con la remoción de microorganismos de referencia como las coliformes fecales totales (CT) o la *E. Coli* presenta buena capacidad de remoción, pero evidencia problemas de control de la estabilidad de la capa microbiana (Figura 7).

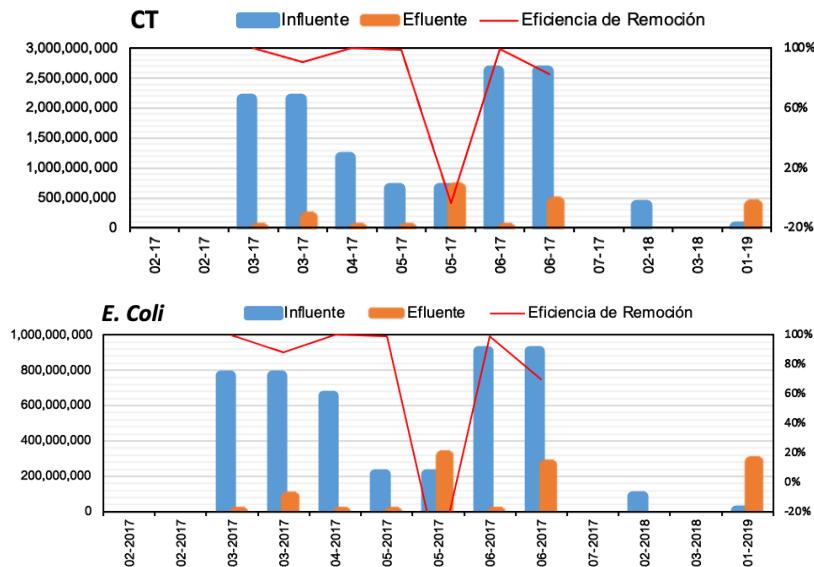


Figura 7. Eficiencia de remoción del año 2016 al 2019 en la PTAR Xalisco. Arriba CT (NMP/100 mL). Abajo, E. Coli (NMP/100 mL). Elaboración propia con información de la Conagua.

La eficiencia de remoción de sólidos es regular, aunque el periodo de observación es muy corto como para ser concluyente con relación a las otras PTAR que operan en la cuenca (Figura 8).

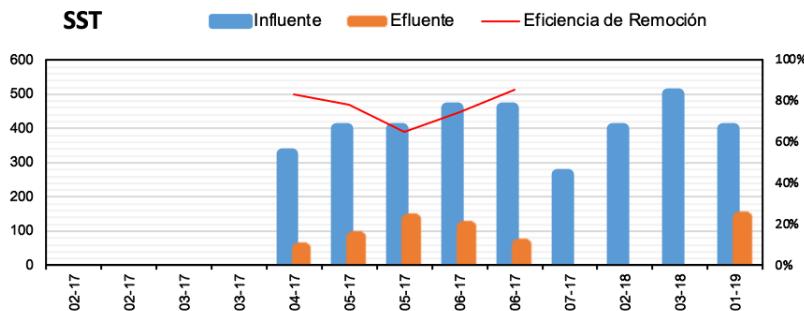


Figura 8. Eficiencia de remoción de SST (mg/l) de 2016 a 2019 PTAR Xalisco. Elaboración propia con información de la Conagua.

PTAR Xalisco 2 (Discos Biológicos).

Esta planta de tratamiento está ubicada en las coordenadas 21°26.583' N y 104°52.190' O, es una planta con el proceso de biodiscos en combinación con un reactor anóxico para obtener desnitrificación y remoción de nitrógeno (Figura 9). La PTAR cuenta con tres módulos de biodiscos con capacidad de diseño total 210 Lps (70 Lps por módulo). En la PTAR también hay infraestructura de un proceso más antiguo tipo filtro percolador empacado con tezontle. Este proceso tiene una capacidad de diseño de 70 Lps. Sin embargo, la descarga de agua residual que llega a la PTAR Xalisco es de 250 Lps. Lo que implica que la infraestructura ha sido rebasada en su capacidad de diseño.



Figura 9. PTAR Xalisco 2, Nayarit. Elaboración propia.

Evaluación de funcionamiento.

Cada tren de tratamiento del proceso de biodiscos está constituido de la forma siguiente: 1) Tratamiento primario con rejillas autolimpiables o mecanizadas, 2) Sistema de biodiscos, 3) Reactor anaerobio- anóxico 4) Sedimentador secundario y 5) Cloración (Figura 10).



Figura 10. Superior izquierda, influente de agua residual a PTAR Xalisco 2. Superior derecha, cribado del agua residual. Inferior, módulos de biodiscos (capacidad de 20 Lps c/u). Elaboración propia.

Su reciente rearranque se realizó después de un periodo prolongado de meses sin operar por una descompostura y falta de presupuesto para hacer la reparación de los equipos dañados. El tercer tren aún no se repara.

Se seleccionó uno de los dos módulos de biofiltros en operación para su evaluación. De la toma de muestras (Figura 11) y análisis realizados se puede constatar que el proceso no se encontraba aún estabilizado porque todavía no crecía la biopelícula sobre los discos rotatorios (Figura 12) y por lo mismo no presentó eficiencia de remoción en cuanto a los parámetros de DQO, DBO5, y CF. Presentó una baja eficiencia de remoción de los parámetros de NT y PT siendo los SST el único parámetro que mostró una eficiencia de remoción significativa. Esto es normal ya que este contaminante se remueve en las unidades que

realizan procesos físicos de sedimentación y no por el proceso biológico que realizan los biodiscos. Bajo estas condiciones el efluente que se descargaba al Río Mololoa, al momento del muestreo, no cumple con la normatividad mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996) para ninguno de los parámetros evaluados (Tabla 2). Esto genera un severo problema de contaminación en el punto de descarga de este efluente en el Río Mololoa (Figura 13).



Figura 11. Toma de muestras de agua residual en PTAR Xalisco 2. Elaboración propia.



Figura 12. Unidad de biodiscos sin crecimiento de la biopelícula sobre los discos y por lo tanto no hay una adecuada remoción de contaminantes. Elaboración propia.

Tabla 2. Calidad del agua residual cruda de entrada y salida de la PTAR Xalisco 2 (datos de octubre de 2020). Elaboración propia.

Parámetro	Entrada de agua residual cruda	Salida de agua residual tratada en el proceso de Biodiscos	Límite NOM-001-SEMARNAT-1996	CNom
	mg/L	mg/L	mg/L	
DQO*	689	507	*	**
DBO5	436	435	30	NO
SST	780	180	40	NO
NT	101	66	15	NO
PT	39	28	5	NO
CF	2.70E+07	1.20E+07	1.0E+03	NO

*No Aplica, pero un valor igual o menor que 100 mg/L es adecuado. **No aplica, pero el valor obtenido es muy alto. CF en (NMP/100 mL). CNom: Cumple con la norma.

El efluente requiere ser desinfectado de forma más eficiente para reducir la aportación de coliformes al cuerpo receptor (Figura 13).



Figura 13. Izquierda, cloración del efluente sin dosificador a la salida del proceso de biodiscos. Central, efluente de la PTAR. Derecha, descarga del emisor de la PTAR Xalisco en el río Mololoa, al fondo de la imagen se observa la entrada de contaminación al río. Elaboración propia.

Plantas operadas por el Estado hasta 2017 y transferida al sistema municipal de Tepic, Nayarit

Las plantas que a continuación se describen fueron construidas y operadas por el estado de Nayarit, sin embargo, a partir del 2017 su operación y mantenimiento pasó a la responsabilidad del sistema municipal de agua potable, alcantarillado y Saneamiento de Tepic, Nayarit, cómo se conserva hasta este momento.

PTAR La Cantera.

La PTAR La Cantera está ubicada en las coordenadas $21^{\circ}29.004'N$ y $104^{\circ}50.020'W$, actualmente cuenta con dos procesos de tratamiento: Lodos Activados con aireación extendida y Biodegestores. Estos procesos están diseñados para 90 Lps y 30 Lps, respectivamente. Sin embargo, actualmente le llegan 150 Lps a la PTAR La Cantera y los 30 Lps sobrantes se bombean a la PTAR Oriente para su tratamiento, pero actualmente se descargan sin tratar al Río Mololoa por estar fuera de operación.

La PTAR La Cantera, originalmente fue diseñada como un proceso de lodos activados de aireación extendida, con capacidad de 90 Lps. Con el tiempo el afluente que llega a la PTAR sobrepasó su capacidad de tratamiento y para mitigar el problema la solución que se tenía al alcance de las posibilidades económicas, por las limitaciones que se tienen de falta de presupuesto, fue construir dos líneas paralelas por un proceso de digestión anaerobia en biodigestores estáticos en contenedores plásticos. Cada línea cuenta con 10 digestores conectados en serie con una capacidad de 15 Lps por línea, (30 Lps en conjunto) los cuales no demandan un consumo de energía eléctrica para su operación como en el caso de los lodos activados de aireación extendida.

Proceso de Lodos Activados con aireación extendida

Este proceso cuenta con cuatro módulos con el siguiente tren de tratamiento: 1) Micro tamiz, 2) Reactor de aireación extendida, 3) Sedimentador secundario y 4) Cloración (Figura 14).

Se seleccionaron al azar dos de los cuatro módulos de la PTAR para ser evaluados. Del muestreo y análisis de muestras se determinó que esta PTAR trabaja adecuadamente cuando se opera correctamente y presenta una adecuada remoción de contaminantes ya que como se muestra en la Tabla 3, el efluente que sale del tanque de aireación extendida y finalmente del clarificador secundario (antes de pasar por la desinfección) presenta concentraciones de materia orgánica, medida como demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), sólidos suspendidos (sst), nitrógeno (NT) y fósforo (PT) que cumplen con la normatividad mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996) tipo C para descarga en cuerpos naturales con protección a la vida acuática.



Figura 14. PTAR La Cantera Proceso de Lodos Activados. Izquierda. reactor de aireación extendida. Derecha, salida de clarificador secundario. Elaboración propia.

Evaluación de funcionamiento.

Si bien el efluente del proceso es de buena calidad es importante resaltar que no todos los módulos se operan de forma adecuada ya que se observaron diferencias importantes entre los dos módulos evaluados, como ejemplo la concentración de sólidos suspendidos volátiles (ssv), en el tanque de aireación,

que representan la biomasa activa en el reactor, los cuales definen la carga orgánica específica con la que cada reactor opera. Así, para el caso del módulo II la concentración de ssv fue igual a 2 558 mg/L mientras que para el módulo I la concentración de ssv fue de 1 390 mg/L, lo que representa el 55% de la biomasa en el módulo I. En concordancia con este hecho, se observó que en el módulo II, la eficiencia de remoción de materia orgánica y nutrientes fue mejor que en el módulo I. De igual forma, en el reactor aerobio de ambos módulos fue medido el índice volumétrico de lodos (IVL) siendo de 160 mL para el reactor del módulo II, mientras que para el módulo I fue de 805 mL, mostrando un problema de sedimentabilidad en este módulo.

En la PTAR La Cantera recientemente se instaló un tren de tratamiento nuevo, compuesto por dos líneas en paralelo compuesta por 10 biodigestores cada una, conectados en serie (Figura 15), con capacidad de 15 Lps cada línea, para tratar un total de 30 Lps por este proceso. A partir del muestreo y análisis de las muestras se demostró que este proceso de tratamiento presenta una eficiencia de remoción que no es suficiente para cumplir con los parámetros máximos permisibles de descarga de contaminantes establecidos en la normatividad mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT, 1997), tal como se muestra en la Tabla 3, donde el efluente de los biodigestores no cumple con la DB05, SST, NT y PT.



Figura 15. Proceso de biodigestores en planta La Cantera. Izquierda, línea de alimentación del cárcamo a los biodigestores. Derecha, módulo I de Biodigestores en serie.

Elaboración propia.

Tabla 3. Calidad del efluente de los procesos de 1) Lodos activados con aireación extendida, 2) biodigestores y 3) Mezcla de ambos más cloración en la PTAR La Cantera (datos octubre de 2020). Elaboración propia.

Parámetro	Límite NOM-001-SE-MARNAT-1996	Salida Lodos Activados antes de la desinfección	Salida Biodigestores antes desinfección	Salida de mezcla de efluentes y desinfección			
	mg/L	mg/L	CNom	mg/L	CNom	mg/L	CNom
DBO ₅	30	27	SI	86	NO	46	NO
SST	40	40	SI	60	NO	28	SI
NT	15	5	SI	36	NO	18	NO
PT	5	5	SI	12.3	NO	7.4	NO
CF	1.00E+03					NO	
DQO	*	30	**	137	**	84	**

CNom: Cumple con la norma. CF en (NMP/100 mL). CF en (NMP/100 mL). *No Aplica, pero un valor igual o menor que 100 mg/L es adecuado. **No aplica, pero el valor obtenido es muy alto.



Actualmente el efluente del proceso de Biodigestores se mezcla con el efluente de los sedimentadores secundarios del proceso de aireación extendida y juntos reciben la desinfección por cloración antes de ser descargados (Figura 16). En las gráficas de la Figura 17 se puede comparar la eficiencia de remoción entre los procesos de LA de aireación extendida y biodigestores, respecto a la DBO₅, DQO y SST.

Figura 16. Punto de mezcla y desinfección de los efluentes de los procesos de aireación extendida y biodigestores. Elaboración propia.

La diferencia de eficiencia entre ambos procesos es más notoria respecto a la DQO mientras que para los SST y la DBO₅ la diferencia no es tan marcada. Actualmente, ambos efluentes son mezclados en el proceso de desinfección y por esa razón después de este paso la concentración de los diferentes parámetros es la misma para ambos procesos y por lo tanto hay un solo efluente de ésta PTAR.

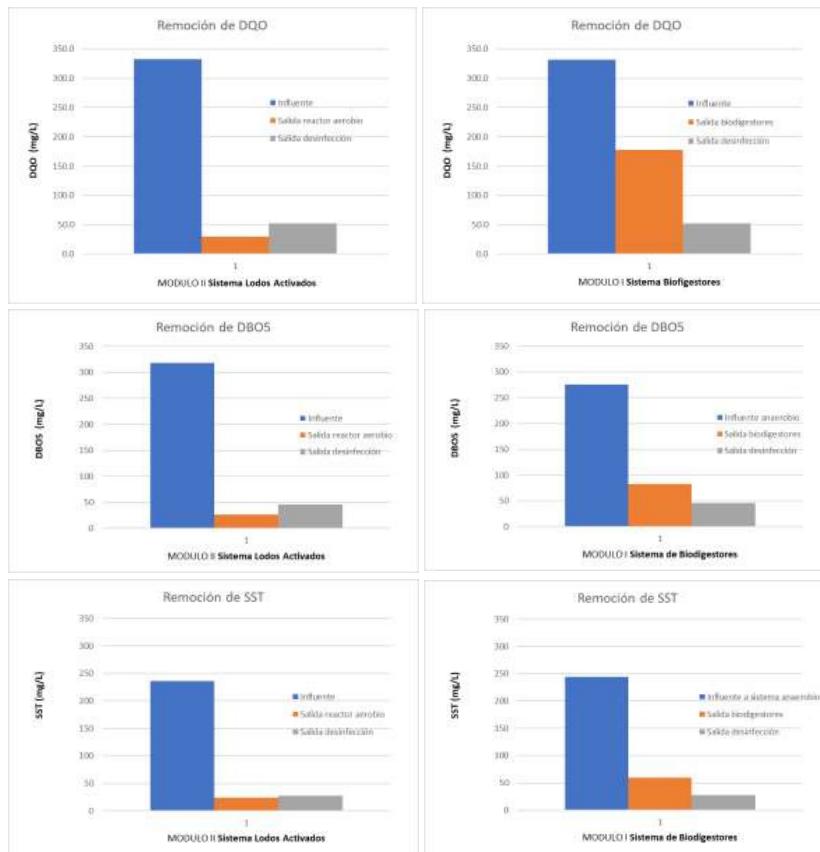


Figura 17. Comparación entre la concentración de DQO, DBO₅ y SSV a la entrada y salida de los procesos de LA de aireación extendida y Biogenerator. Elaboración propia con información de la Conagua.

En la Figura 18 se observa que también hay una marcada diferencia entre la eficiencia obtenida en el proceso de aireación extendida y biodigestor respecto a la remoción de nutrientes, pero respecto a la remoción de patógenos la diferencia no es tan marcada ya que ambos procesos remueven pocos patógenos.

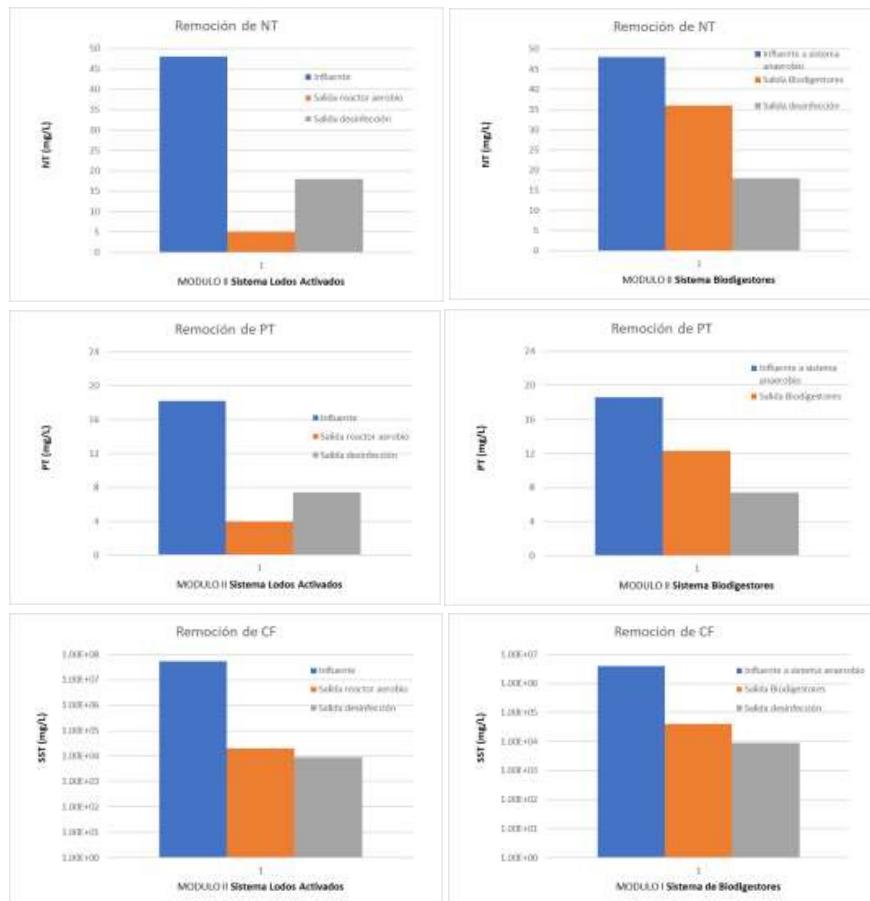


Figura 18. Comparación entre la concentración de NT, PT y CF a la entrada y salida de los procesos de lodos activados de aireación extendida, Biodigestor y después de la desinfección. Elaboración propia con información de la Conagua.

Se aprecia que después de la mezcla de los efluentes y la desinfección para todos los parámetros, excepto las CF, la calidad del efluente de lodos activados decrece mientras que la calidad del efluente de los biodigestores mejora. Sin embargo, el resultado final es que el efluente final de la PTAR La CANTERA no cumple con los límites máximos de descarga de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para la mayoría de los parámetros, a excepción de los SST.

Registro histórico de funcionamiento 2016-2019.

La planta La Cantera presenta una buena estabilidad y capacidad de remoción de DQO y DBO₅, la eficiencia es bastante alta y constante. Algo que llama la atención en las observaciones son algunos picos, pueden ser errores de registro (Figura 19).

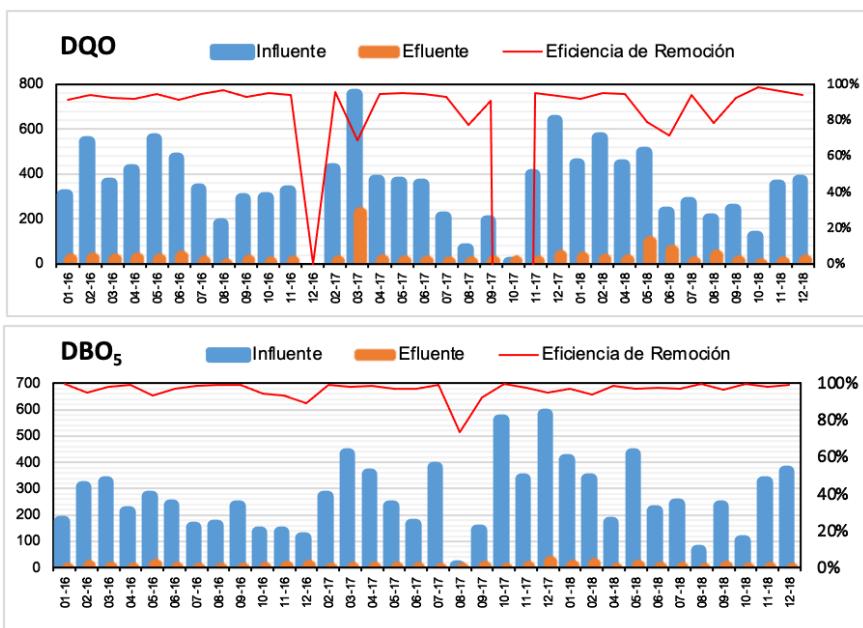


Figura 19. Eficiencia de remoción del 2016 al 2019 en la PTAR La Cantera. Arriba de DQO (mg/L). Abajo, DBO₅ (mg/L). Elaboración propia con información de la Conagua.

La remoción de coliformes totales y *E. coli* es bastante estable según el registro sin embargo presenta algunos picos en el primer semestre de 2018 (Figura 20).

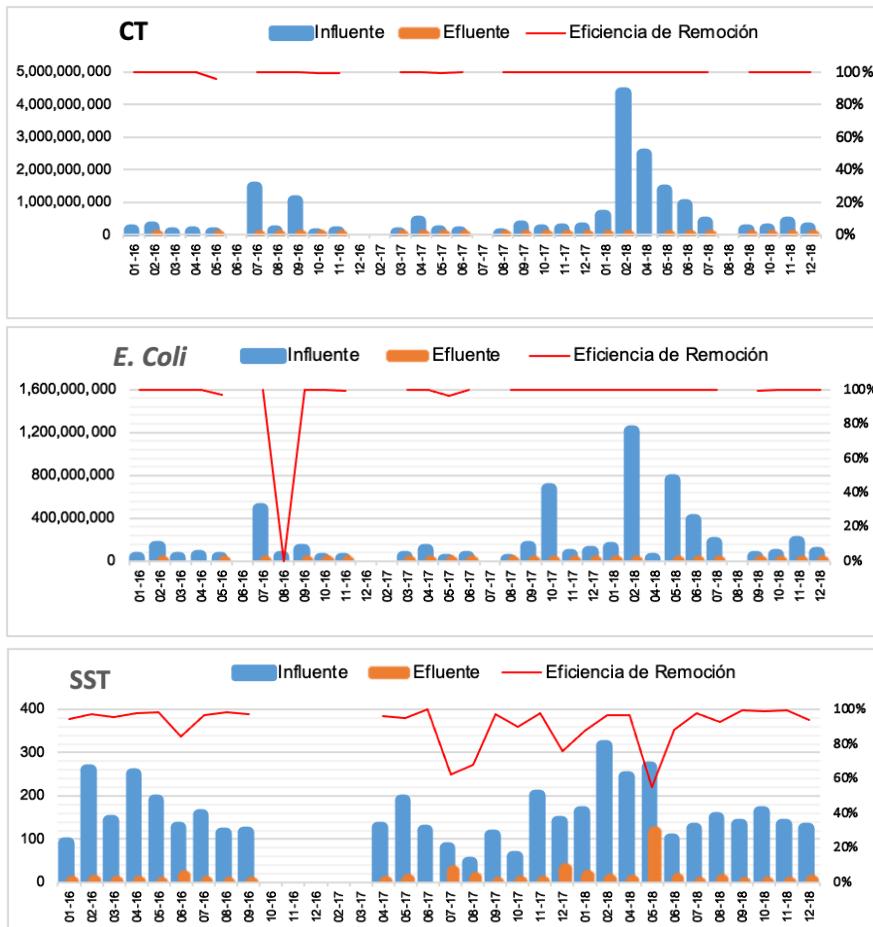


Figura 20. Eficiencia de remoción del 2016 al 2019 en la PTAR La Cantera. Arriba, CT (NMP/100 mL). En medio, *E. Coli* (NMP/100 mL). Abajo, SST (mg/L). Elaboración propia con información de la Conagua.

La variabilidad en la capacidad de la remoción de sólidos suspendidos totales refleja un proceso medianamente establecido que, aunque funciona para otros parámetros, demanda un análisis más detallado de las fases de operación en el reactor revisando si los tiempos de retención son apropiados o si bien el pretratamiento es el apropiado.

PTAR Oriente.

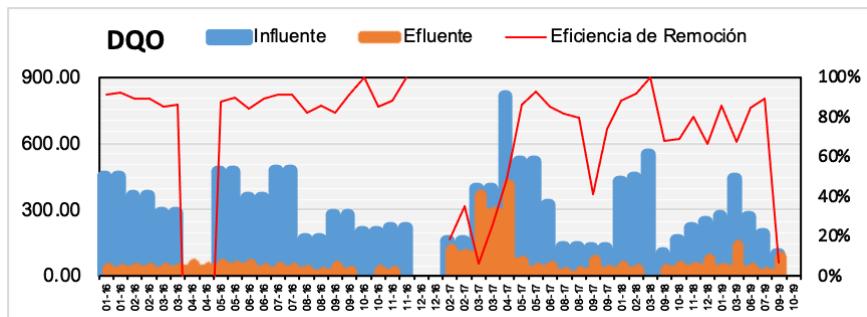
La PTAR Oriente está ubicada en las coordenadas 21°29.294' N y 104°51.020' O se trata de una PTAR, con tres trenes de biodiscos tiene una capacidad instalada de 250 Lps, no tiene instalado pretratamiento, cuenta con un tanque de cloración al final del proceso.

Evaluación de funcionamiento

Esta planta se encuentra fuera de operación debido a que el organismo operador no logra solventar el costo de la energía

Registro histórico de funcionamiento 2016-2019.

La PTAR Oriente presenta dos épocas, su primer año de operación es bastante estable en cuanto a su eficiencia, sin embargo, el segundo y tercero presenta una variabilidad muy amplia en su eficiencia alrededor del 40% y en ocasiones con mínimos (Figura 21).



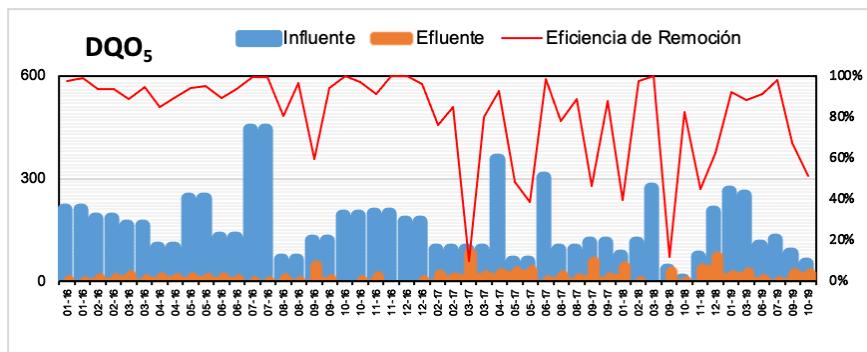
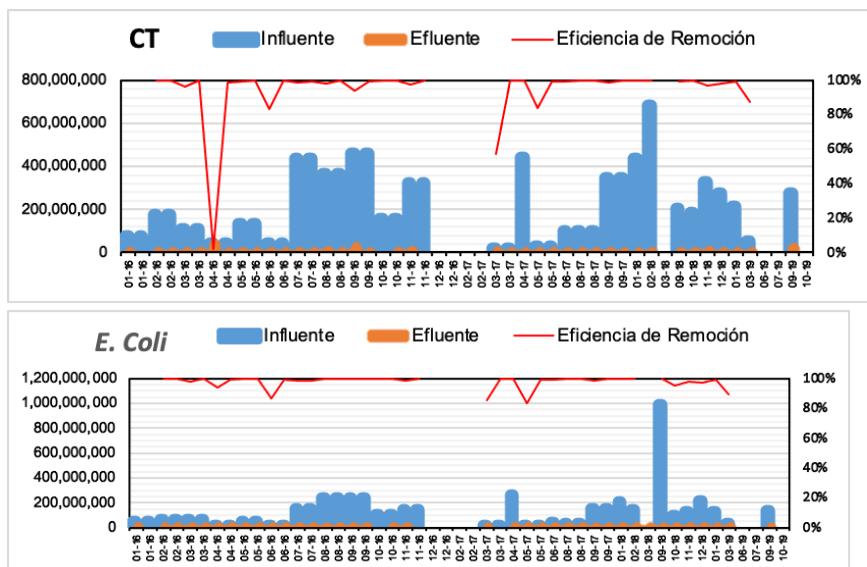


Figura 21. Eficiencia de remoción del 2016 a 2019 en la PTAR Oriente. Arriba, DQO₅ (mg/L). Abajo DBO₅ (mg/L). Elaboración propia con información de la Conagua.

Sin embargo, la remoción bacteriológica de coliformes totales y *E. coli*, es bastante buena en ambas épocas (Figura 22).



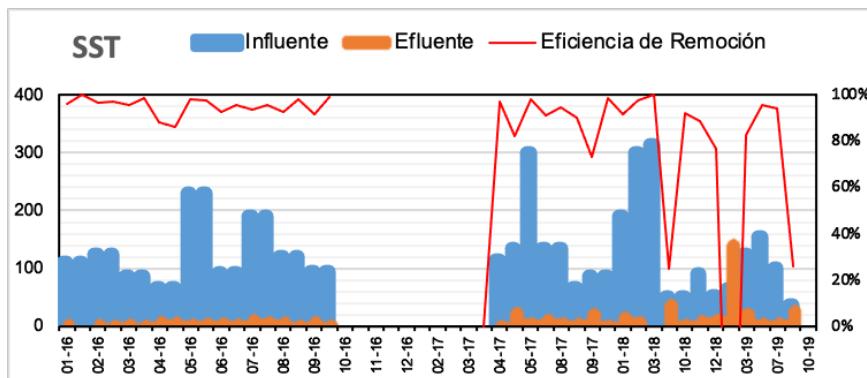


Figura 22. Eficiencia de remoción del 2016 al 2019 PTAR en la PTAR Oriente. Arriba, CT (NMP/100 mL). En medio *E Coli* (NMP/100 mL). Abajo, SST (mg/L). Elaboración propia con información de la Conagua.

La remoción de sólidos también presenta un primer año de operación muy estable y una posterior complicación operativa.

PTAR Norte

Es una planta con el proceso de biodiscos modificado con un proceso anóxico. Su capacidad de diseño es de 250 Lps.

La PTAR Norte está ubicada en las coordenadas $21^{\circ}32.545'$ N y $104^{\circ}51.759'$ O, se encuentra fuera de operación debido al costo de la energía eléctrica su



sistema de biodiscos se ver desmantelado y sin película biológica formada por lo que no es posible realizar su evaluación (Figura 23).

Figura 23. PTAR Norte fuera de operación. Elaboración propia.

Evaluación de funcionamiento

Esta PTAR se encuentra parcialmente desmantelada y fuera de operación

Registro histórico de funcionamiento 2016-2019.

Los registros históricos de la Conagua muestran un comportamiento estable con una eficiencia superior del 80%, como se muestra en las Figuras 24 y 25.

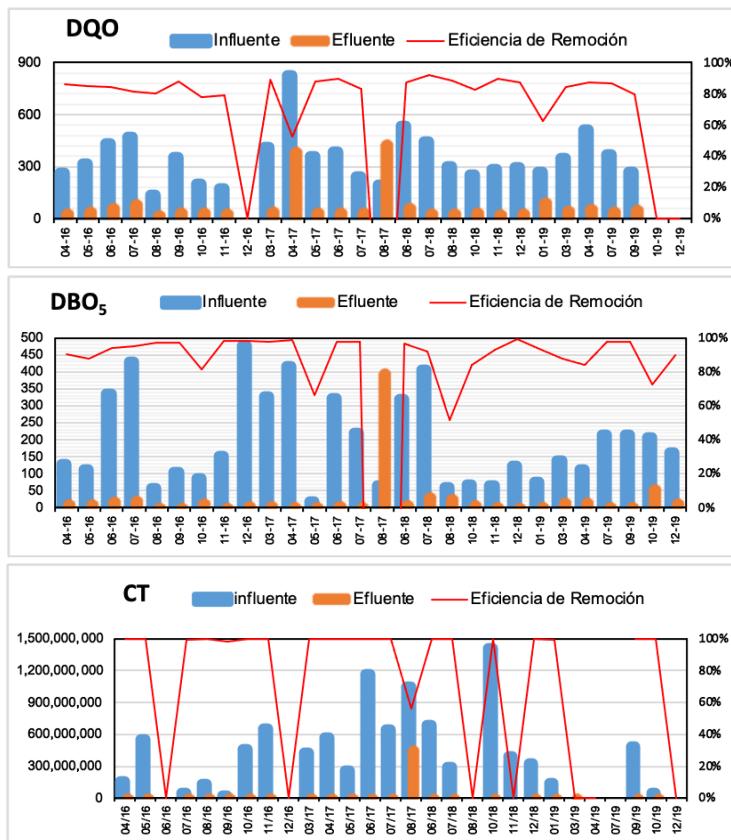


Figura 24. Eficiencia de remoción del 2016 al 2019 PTAR Norte. Arriba, DQO (mg/L). En medio, DBO₅ (mg/L). Abajo, CT (NMP/100 mL). Elaboración propia con información de la Conagua.

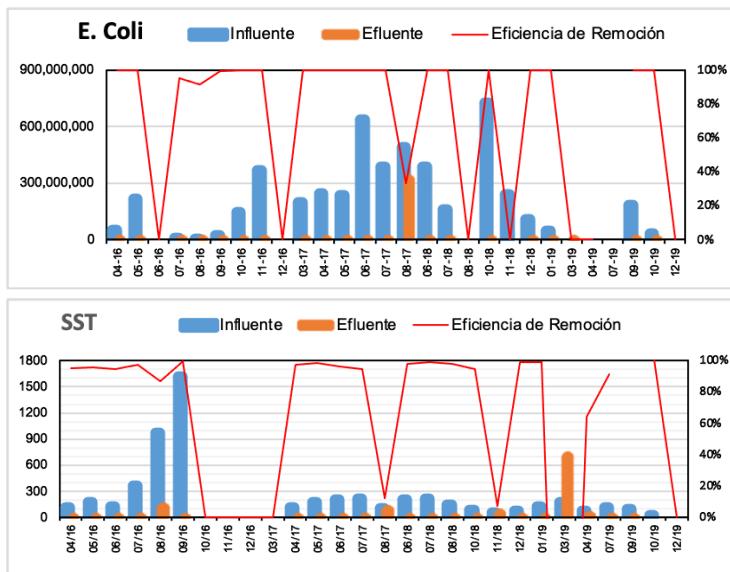


Figura 25. Eficiencia de remoción del 2016 al 2019 en la PTAR Norte. Arriba, *E Coli* (NMP/100 mL). Abajo, SST (mg/L). Elaboración propia con información de la Conagua.

PTAR El Rastro (Ciudad Industrial).

Esta PTAR se ubica en las coordenadas 21°28.380' N y 104°50.650' O, su proceso de tratamiento consiste en lodos activados se encuentra fuera de operación, las descargas del rastro se van crudas al río Mololoa, no es posible realizar una evaluación de eficiencia en tanto no entre en operación.

De acuerdo con la información obtenida la descarga puede alcanzar 2.3 Lps y los aportes contaminantes llegarán a 48 Kg por día de DBO_5 .

Evaluación de funcionamiento

La PTAR aún no entra en operación.

Registro histórico de funcionamiento 2016-2019.

No existe registro de funcionamiento histórico de esta planta de tratamiento.

PTAR El Punto.

La PTAR El Punto está ubicada en las coordenadas 21°33.030' N y 104°53.816' O. en la porción norte de la ciudad de Tepic descarga su efluente en el río Mololoa en el tramo de salida de la ciudad.

Es una planta con el proceso de filtro rociador (o percolador). Su capacidad de diseño es de 800 Lps. Esta PTAR cuenta con un pre-tratamiento constituido por 1) desvío de agua de exceso para riego de cañaverales; 2) cribado mecánico y 3) desarenador (Figura 26). Posterior al pretratamiento, la PTAR originalmente tenía 3 trenes de tratamiento iguales, compuestos por: 1) Sedimentador primario, 2) Filtro Rociador, 3) Sedimentador secundario y 4) Cloración.

Sin embargo, uno de los trenes fue convertido como sigue: 1) Cribado, 2) Generador de energía eléctrica con agua residual cruda, 2) Biodigestor, 3) Filtro Rociador, 4) Sedimentador Secundario, 5) Tanque de aireación y 6) Cloración.



Figura 26. Llegada de agua residual cruda a la PTAR El Punto. Izquierda, criba descom-puesta. Centro, desvió el flujo hacia la PTAR y hacia el riego de cañaverales. Derecha, desarenadores. Elaboración propia.

Evaluación de funcionamiento.

La PTAR El Punto posee un proceso de filtro percolador sobre material de empaque plástico.

De los dos trenes con la primera configuración solo uno está en operación y el otro no funciona por descomposturas en equipo y falta de mantenimiento. En el tren en funcionamiento se tomaron muestras para su análisis en los puntos siguientes: 1. Agua residual cruda; 2. Salida de sedimentador primario; 3. Salida filtro percolador + sedimentador secundario, y; 4. Salida del sistema de desinfección por cloración. Del análisis de los resultados, se determinó que:

1. El sedimentador primario (Figura 27) funciona eficientemente ya que remueve el 80% de los SST (Tabla 4).
2. El filtro percolador no opera de forma eficiente ya que solamente remueve el 52% de la materia orgánica medida como DBO5. Esto puede deberse a una velocidad de filtración superior a la velocidad original de diseño por estar fuera de operación uno de los tres trenes de tratamiento que fue transformado agregando un digestor anaerobio. Pero también y de forma evidente a una mala distribución del agua sobre la superficie de la cama filtrante lo que ocasiona cortocircuitos y un volumen muy importante del reactor fuera de operación. El agua no sale de forma uniforme por toda la longitud de los brazos dosificadores giratorios (Figura 28) y, además, los brazos de distribución del agua residual no giran por estar descompuesto el motor que los hace rotar.
3. El sedimentador secundario, no está operando adecuadamente. Mostró flotación de lodos (Figura 29) debido a descompostura de la rastra y también a la acumulación de lodos en el fondo con flotación de los mismos. Estos lodos también salen de forma intermitente con el efluente del sedimentador secundario y llegan al proceso de cloración.
4. El proceso de cloración no funciona adecuadamente. Le llegan (de forma intermitente) los flóculos de lodos secundarios del proceso biológico y estos salen con el efluente final (Figura 30), razón por la cual se midió una concentración de SST en el efluente final, del doble de la concentración que se midió de forma puntual (muestra puntual) a la salida del

.....

sedimentador primario. Esta salida de lodos biológicos y su cloración en el sistema de desinfección genera problemas graves en la composición del efluente por la formación de trihalometanos, que son compuestos carcinogénicos y también la liberación de microorganismos patógenos que pueden generar resistencia. Además, al salir gran cantidad de lodos biológicos del proceso del sedimentador secundario no hay eficiencia en el sistema de desinfección, ya que la concentración de CF en el efluente fue del mismo orden de magnitud que a la entrada.

En las condiciones actuales el tren de tratamiento evaluado funciona de forma muy deficiente y el efluente que se descarga al Río Mololoa no cumple con los valores máximos permisibles que marca la normatividad mexicana (Tabla 4).



Figura 27. Sedimentador primario del tren de tratamiento original en operación. Elaboración propia.

Tabla 4. Concentraciones de contaminantes en los diferentes procesos unitarios del tren de tratamiento original de la PTAR El Punto y comparación con la normatividad del efluente final. Elaboración propia.

Parámetro	Entrada de agua residual cruda	Salida de sedimentador primario	Salida filtro percolador + sedimentador secundario	Salida desinfección	Límite NOM-001-SEMARNAT-1996
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	Cnom
DQO*	398	-	102	104	* **
DBO ₅	203	204	97	97	30 NO
SST	408	80	70	140	40 NO
NT	42	30	29	29	15 NO
PT	17.3	7.9	8.0	8.0	5 NO
CF	1.0 E+07			2.0 E+07	1.00E+03 NO

Cnom: Cumple con la norma. CF en (NMP/100 mL). CF en (NMP/100 mL). *No Aplica, pero un valor igual o menor que 100 mg/L es adecuado. **No aplica, pero el valor obtenido es muy alto.

La PTAR cuenta con instalaciones y equipo para el tratamiento de lodos por digestión, deshidratación y espesamiento. Esta infraestructura se encuentra abandonada (Figura 31). Se nos informó que en las condiciones actuales de la PTAR no se hace la gestión de los lodos que se generan, los cuales se descargan directamente al Río Mololoa.



Figura 28. Filtro percolador en funcionamiento. A la izquierda vista general se observa que el efluente no sale a lo largo de todos los bazos. Derecha, detalle de mala alimentación. Elaboración propia.



Figura 29. Reactor secundario con flotación de lodos biológicos. Elaboración propia.



Figura 30. Sistema de cloración con lodos biológicos provenientes del sedimentador secundario. Elaboración propia.



Figura 31. Instalaciones para tratamiento de lodos biológicos. Fuera de operación y en deterioro constante. Elaboración propia.

Proceso Anaerobio (biodigestor) seguido de proceso Aerobio (filtro percolador + tanque aireación)

El tren de tratamiento reconvertido a anaerobio está fuera de servicio por varios problemas. El equipo de micro-cribado se dañó y no fue reparado. El

ingreso de agua residual cruda sin cribar dañó a su vez el generador de energía eléctrica (Figura 32) que funciona con el agua residual cruda que viene de la entrada y que llega a un punto más bajo donde está el motor generador para aprovechar la diferencia de niveles (altura). Al dañarse el motor generador se dejó de alimentar el agua residual cruda al biodigestor el cual está fuera de servicio. La geomembrana que cubre el digestor se encontraba completamente sin presión interna indicando que no hay generación de biogás por falta de operación (Figura 33). El sedimentador secundario que debe recibir el efluente del biodigestor se encontraba también fuera de servicio incluso con crecimiento de vegetación dentro del mismo (Figura 34). Los lodos del sedimentador secundario se deben pasar a una etapa de digestión aerobia que se instaló en uno de los sedimentadores secundarios. Esta unidad también está fuera de servicio desde hace mucho tiempo e incluso el efluente, rico en nutrientes muestra una afloración (boom) de algas (Figura 35).

El estado de los procesos unitarios de este tren de tratamiento demuestra que la PTAR lleva un periodo largo de tiempo fuera de operación (Figura 36). De acuerdo con la información recabada la razón es igualmente la falta de presupuesto por parte del Municipio para las reparaciones, el mantenimiento adecuado y la operación de la PTAR.

El que este tren de tratamiento esté fuera de operación hace que el diseño original con filtros percoladores reciba una sobrecarga de agua residual con lo cual, provoca un aumento de la carga orgánica al sistema y, aunado a la descompostura de sistemas de bombeo y otras descomposturas, afecta la eficiencia de remoción de materia orgánica la cual para el filtro rociador fue medida en 54% para la DQO y 74% para la DBO5, cuando por diseño puede estar entre un 80 y 90%, respectivamente.



Figura 32. Equipo de generación de energía por caída por gravedad del influente de agua residual cruda a la entrada de la PTAR El Punto. Izquierda, motor generador. Derecha, tablero de control. Elaboración propia.



Figura 33. Biodigestor instalado en uno de los sedimentadores primarios de la PTAR El Punto. Se observa geo-membrana sin presión interna de biogás. Elaboración propia.



Figura 34. Clarificador secundario del proceso de biodigestión anaerobia fuera de operación. Se observa el crecimiento de vegetación dentro del clarificador. Elaboración propia.



Figura 35. Reactor final de aireación adecuado en uno de los clarificadores secundarios de los trenes de tratamiento originales. Se observa que está fuera de operación desde hace un periodo prolongado de tiempo. El color es debido a un crecimiento de algas por exceso. Elaboración propia.



Figura 36. Filtro percolador de una de las líneas de tratamiento fuera de operación, sin biopelícula y completamente seco. Se observa que este proceso lleva un largo periodo de tiempo fuera de servicio. Elaboración propia.

Esta PTAR representa una inversión enorme en infraestructura para el tratamiento que fue hecha hace alrededor de 30 años. La PTAR fue construida por FIPASA. Funcionando de forma adecuada puede tratar de forma eficiente 800 Lps. Sin embargo, el estado actual de la infraestructura demuestra una falta de mantenimiento, de operación y un abandono generalizado que conducen a:

1. Tratamiento deficiente y parcial del influente y envío de agua residual cruda al río.
2. La eficiencia del agua tratada es baja.
3. La realización de prácticas inadecuadas, como el envío de lodos primarios y secundarios al caudal del Río Mololoa.

En conclusión, la PTAR está siendo mal operada generando costos de operación por salarios de operadores y consumibles (por ejemplo, químicos) y energía eléctrica (aunque la operación sea intermitente) sin un efecto positivo real sobre la salud de la cuenca.

Esta operación deficiente genera que toda la contaminación regrese al río a pesar del poco, malo o nulo tratamiento que se da al efluente.

Otro aspecto delicado es que, al igual que en la PTAR Xalisco, al operar mal la PTAR y tener alta concentración de materia orgánica (en forma de DBO5) y de lodos (sst) y darle una desinfección con cloro se genera contaminación por trihalometanos que no existía en el agua residual cruda y que afecta la vida en el lecho del Río Mololoa, por ser sustancias tóxicas y carcinogénicas

Registro histórico de funcionamiento 2016-2019.

En la figura 37 se observan las amplias variaciones de DBO5 durante el período reportado con valores menores a 100 mg/L hasta valores de 500 mg/L manteniendo en general una eficiencia de remoción superior al 80%. Por su parte los coliformes totales, así como la presencia de *E. coli* muestran picos no asociados entre sí cuyas eficiencias de remoción son muy variables. La concentración de sólidos suspendidos totales se mantiene por debajo de los 200 mg/L durante todo el período reportado a excepción de un pico de cercano a los 2000 mg/L en agosto del 2018.



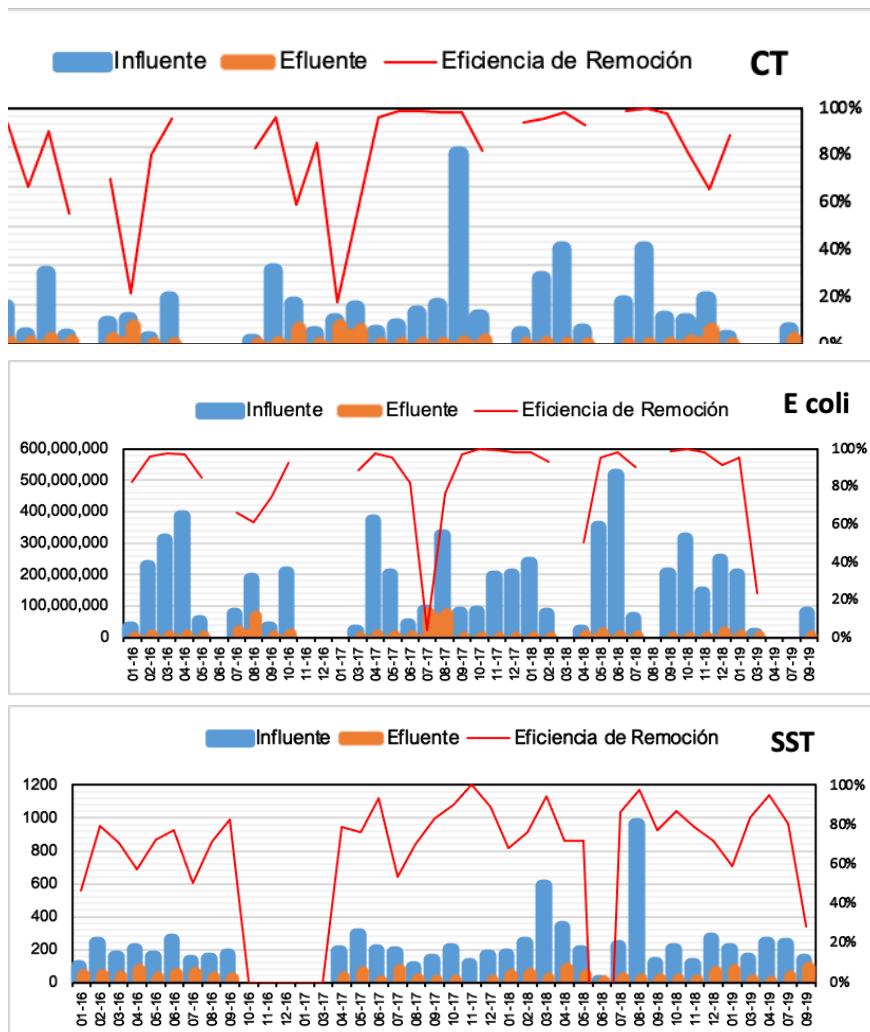


Figura 37. Eficiencia de remoción del 2016 al 2019 en la PTAR El Punto. A) DBO_5 (mg/L). B) CT (NMP/100 mL). C) E. Coli (NMP/100 mL). D) SST (mg/L). Elaboración propia con información de la Conagua.

En la figura 38 se observa las variaciones en la eficiencia de remoción de DQO que va de menor al 60% hasta mayor al 90% durante julio del 2019 ante la presencia de un pico con más de 900 mg/L.

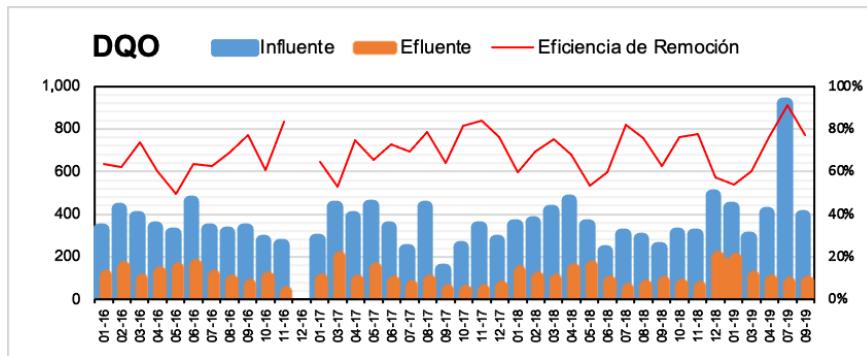


Figura 38. Eficiencia de remoción de DQO (mg/L) de 2016 a 2019 PTAR El Punto. Elaboración propia con información de la Conagua.

Desarrollo de alternativas de reúso agrícola de aguas tratadas

El uso de aguas residuales tratadas es factible en el cultivo de caña, árboles frutales y agave azul, en particular en las zonas aledañas a las PTAR de San Leonel, La Labor, Pantanal, Xalisco y la Cantera que por su ubicación generan dominancia del territorio para ofertar riego a gravedad, la zona se categoriza como TS (Agricultura de temporal semipermanente) con lo que la necesidad de riegos de auxilio durante la época de estiaje es manifiesta.

En el caso de la PTAR El Punto se encuentra en una zona muy encañonada y altitud baja con lo que la factibilidad de generar riego dependerá de se hiciera la inversión en sistemas de bombeo para llevar el agua a las zonas frutales en la parte oriente de su ubicación, la zona se categoriza como TAS (agricultura de temporal anual y semipermanente) (Figura 39).

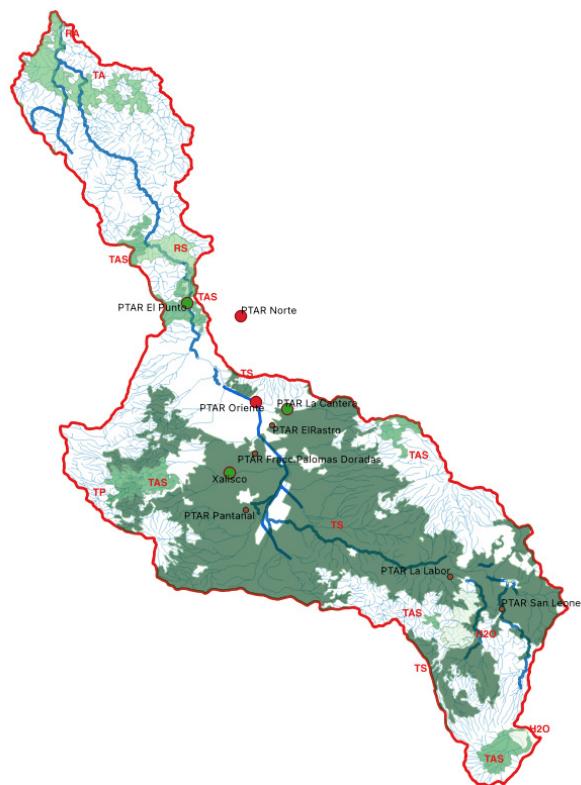


Figura 39. Ubicación de las zonas agrícolas respecto de las PTAR en la cuenca del río Mololoa.

Elaboración propia.

Las condiciones estacionales del uso de agua tratada son favorables en un periodo de octubre a junio de acuerdo con los registros de precipitaciones, por lo que su uso podría fortalecerse mediante la construcción de reservorios de agua a un lado de las PTAR a fin de contar con un almacenamiento que permita ajustar la disponibilidad diaria de gastos de agua residual de origen urbano con las necesidades específicas de riegos de auxilio en el caso de caña, agave, maíz y forrajes (Figura 40). Y el uso más continuo pero que requiere un tratamiento adicional en los casos de goteo o microaspersión.

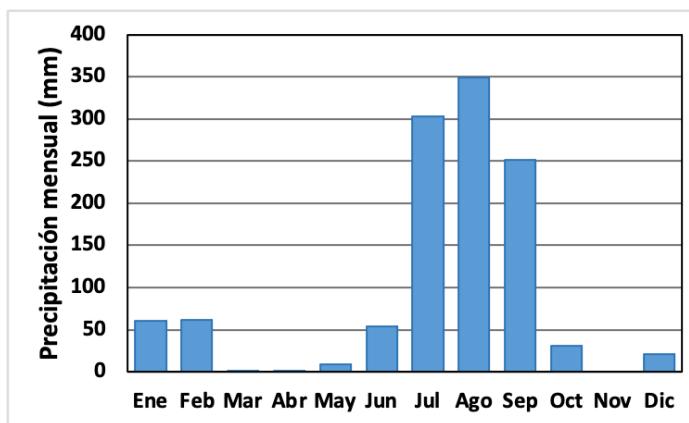


Figura 40. Precipitación mensual acumulada de enero a diciembre de 2020, en mm, para el estado de Nayarit. Fuente: CONAGUA, 2020.

En el cultivo de caña de acuerdo con las prácticas explicadas por los productores, es factible el reúso en al menos un riego durante el desarrollo del cultivo, esta práctica es similar a las que podría usarse en cultivos de maíz y forrajes. En el caso de los frutales es factible el riego por goteo o microaspersión, lo que probablemente requeriría un tratamiento adicional a fin de mantener las líneas de riego libres de la formación de biopelícula.

Los cultivos en la zona reportados de forma oficial en la estadística 2020 de la Secretaría de Desarrollo Rural para el distrito de desarrollo rural de Tepic se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Valor de los cultivos en la cuenca del río Mololoa (SIAP, 2022).

Cultivo	Superficie sembrada ha	Superficie Cosechada ha	Volumen de producción	Rendimiento	Precio pesos	Valor de la producción pesos
Agave	157.5	61	1,661.94	54.53	36,073	29,951,545
Aguacate	6642.3	6396.3	66,130.04	66.34	90,750	1,045,370,828
Arroz palay	1711.5	1711.5	10,988.29	19.13	15,077	58,091,250
Berenjena	8	8	237.28	29.66	7,210	1,710,760
Café cereza	7605.5	5290	4,147.84	3.11	24,433	25,137,934
Calabacita	23.25	23.25	329.56	52.52	15,080	1,278,023
Caña de azúcar	17938	16573	1,215,082.34	419.63	4,380	1,064,412,130
Chile verde	79	79	2,140.43	105.01	37,122	16,284,907
Durazno	32.28	28.28	165.52	11.65	16,742	1,385,328
Elote	123	123	1,694.48	69.84	6,528	2,211,242
Frijol	6808.35	6808.35	7,481.68	5.30	77,964	121,642,749
Lechuga	1.75	1.75	29.17	16.67	3,484	101,631
Limón	1342.81	1306.31	15,558.59	84.28	29,252	66,685,403
Maíz forrajero en verde	289	289	7,568.40	219.64	5,011	4,719,172
Maíz grano	7155	7155	14,114.43	38.49	41,945	62,680,493
Mandarina	3.25	3.25	20.34	12.44	9,048	92,032
Mango	13133.96	12958.46	151,692.83	67.82	24,736	599,193,795
Naranja	53.16	53.16	435.50	41.24	18,009	1,573,570
Nopalitos	11	9.5	106.11	11.17	4,671	495,608
Papaya	212	212	5,438.59	76.38	13,834	25,302,317

Cultivo	Superficie	Superficie	Volumen	Rendimiento	Precio	Valor de la
	sembrada	Cosechada	de producción			producción
	ha	ha			pesos	pesos
Pepino	51.25	51.25	1,145.77	125.10	22,805	5,052,702
Plátano	1946	1837.5	29,561.28	64.02	12,543	90,105,372
Sorgo forrajero en verde	120	120	2,985.41	137.08	3,385	1,663,459
Tabaco	218	218	477.42	4.38	71,360	16,840,545
Tomate rojo (jitomate)	10.5	10.5	475.82	45.32	6,345	3,018,948
Tomate verde	111	111	2,849.48	73.94	16,660	16,339,952

Sin embargo, los cultivos donde es factible el riego con aguas residuales tratadas son solamente los que se enlistan en la Tabla 6.

Cultivos en la cuenca del río Mololoa susceptibles a ser regadas con aguas residuales tratadas.

Cultivo			
Agave	Chile verde	Maíz forrajero en verde	Nopalitos
Aguacate	Durazno	Maíz grano	Plátano
Berenjena	Elote	Mandarina	Sorgo forrajero en verde
Café cereza	Frijol	Mango	Tabaco
Caña de azúcar	Limón	Naranja	Tomate rojo (jitomate)
			Tomate verde

De ellos se hizo una selección de los que es factible el riego con infraestructura menor o rustica por encontrarse en las zonas de dominio a gravedad y se estimó un % del valor incrementado en la productividad por el reuso de

aguas residuales tratadas, aun de forma marginal podría agregar al valor de producción actual de 3,172 millones de pesos un mínimo de 140 millones de pesos adicionales.

En caso de pensarse en inversiones de infraestructura más formal de riego, la implementación de reservorios, sistemas de bombeo, micro aspersión y riego por goteo, el incremento en la productividad podría ser significativo mejorando rendimientos y ampliando la frontera agrícola en la región.

Conclusiones

A partir de 2017 la administración y operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales pasó de gestión estatal la gestión municipal, esto ha derivado en una serie de efectos hasta parar el tratamiento y verter las aguas crudas al Río Mololoa con lo que se ha despertado una preocupación importante en la sociedad por la contaminación resultante.

Se cuenta con una buena cobertura de infraestructura de saneamiento, dado que la capacidad instalada es suficiente para tratar la demanda de generación de aguas crudas.

La infraestructura de tratamiento, aunque es suficiente, no se opera por causas financieras, principalmente el costo del consumo de energía eléctrica y los costos de mantenimiento, observándose algunas de ellas desmanteladas.

La contaminación del río se manifiesta principalmente en el tramo de la zona conurbada en el cual se genera el mayor vertido de aguas crudas por las razones ya expuestas.

Es importante revisar las descargas de origen industrial que van a la red municipal y en los casos que sea necesario como el del Ingenio El Molino aplicar la NOM-002-ECOL-1996, para regular la carga orgánica sobre la PTAR el Punto.

La solución para reducir significativamente la contaminación del río Mololoa consiste fundamentalmente en poner en marcha las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes, lo cual requiere reformular la generación interna

de caja del organismo operador Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Tepic y de Xalisco, ambos del estado de Nayarit.

Referencias

- CONAGUA (2020) Reporte del clima, Reporte anual 2020 SMN <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADA/Diagn%C3%ADstico%20Atmosf%C3%A9rico/Reporte%20del%20Clima%20en%20M%C3%A9xico/Anual2020.pdf>
- SEMARNAT. (1997). *NOM-001-ECOL-1996. Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales*. Ciudad de Mexico, D.F. Enero 06, 1997: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación Obtenido de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4863829&fecha=06/01/1997.
- SIAP SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA DE LA SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL DEL GOBIERNO DE MÉXICO (2022), obtenido de http://infosiap_siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos/ProduccionAgricola/Cierre_agricola_mun_2020.csv.

**Escenarios urbano-ambientales para el manejo integral
de la Cuenca del Río Mololoa en Tepic, Nayarit**

Se terminó de editar en diciembre de 2023 en las
instalaciones de Partner, Aliados estratégicos
para la producción gráfica.

Jerez 2278, Colonia Santa Mónica
C.P. 44220, Guadalajara, Jalisco, México.

En su formación se utilizaron las familias tipográficas
Bruna, diseñada por Antonio Mejía Lechuga
y *Alegreya*, diseñada por Juan Pablo del Peral.

