



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales

Evaluación socioambiental de la contaminación hídrica en la subcuenca El Arenal,
Querétaro.

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta:

Jesús Ignacio Sierra Pérez

Dirigida por:

Dr. Juan Pablo Ramírez Herrejón

Querétaro, QRO., 2025

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

Evaluación socioambiental de la contaminación hídrica en la subcuenca El Arenal,
Querétaro.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta

Jesús Ignacio Sierra Pérez

Dirigida por:

Juan Pablo Ramírez Herrejón

Dr. Juan Pablo Ramírez Herrejón

Presidente

Dra. Diana Patricia García Tello

Secretaria

Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero

Vocal

Dr. Alejandro César Valdés Carrera

Suplente

Dr. José Alberto Rodríguez Morales

Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.

Fecha de aprobación por el Consejo Universitario octubre, 2025 México

Agradecimientos

Agradezco sinceramente al Dr. Juan Pablo Ramírez Herrejón por el apoyo que me brindó durante el proceso de realización de esta tesis, así como por su disposición para orientarme y facilitarme el acercamiento a personas que contribuyeron significativamente al desarrollo de esta investigación. Agradezco también su comprensión y paciencia durante los momentos en que me resultó difícil avanzar, así como la confianza y el acompañamiento que me brindó para continuar con este trabajo.

Agradezco enormemente a la Dra. Diana Patricia García Tello por todo el apoyo que me brindó, por estar siempre dispuesta a escucharme y tenderme una mano cuando lo necesité. Su disposición, comprensión y calidad humana fueron de gran importancia para mí durante esta etapa.

Agradezco al Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero por tomarse el tiempo de revisar mi tesis y por su disposición para explicarme y aclarar las dudas que surgieron durante el proceso.

Agradezco al Dr. Alejandro César Valdés Carrera por su disposición para revisar mi tesis, por sus observaciones y por el apoyo que me brindó para mejorar los detalles de mis mapas.

Agradezco al Dr. José Alberto Rodríguez Morales, quien, a pesar de que me acerqué a él en la etapa final de la tesis, tuvo la disposición de apoyarme y ayudarme a resolver varias de las inquietudes que surgieron durante el desarrollo de la investigación.

Finalmente, agradezco a todos ellos por el tiempo que me dedicaron, su disposición para apoyarme y la generosidad con la que compartieron sus conocimientos. Sus aportaciones fueron importantes para la realización de esta

tesis y, de distintas maneras, me ayudaron a superar las dificultades que encontré durante el camino. Agradezco infinitamente la paciencia que me tuvieron.

Agradezco a Omar Yair Durán Rodríguez por el apoyo que me brindó al compartir datos técnicos y facilitarme recursos para realizar los muestreos, así como a Ulises Torres por acompañarme durante las salidas de campo.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Querétaro por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado y contribuir a mi formación académica y profesional.

Agradezco a Jimena Ramírez Villarreal, quien me fue asignada como tutora a través del programa de Tutorías Pares, por el apoyo que me brindó, tanto en la revisión del documento como en los consejos y orientaciones que me compartió desde su experiencia como estudiante.

Agradezco a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo económico otorgado mediante la beca, el cual fue fundamental para continuar con mi formación académica y desarrollar esta investigación.

Asimismo, agradezco al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ) por el apoyo económico brindado.

ÍNDICE

Resumen.....	6
Abstract.....	7
Introducción.....	8
Planteamiento del problema.....	12
Justificación.....	14
Objetivos.	15
1. Marco conceptual.....	16
1.1. El Enfoque Socioambiental.....	16
1.1.1 Evaluación de Impacto Socioambiental.....	17
1.2. Subcuenca como Unidad de Gestión Territorial.....	17
1.2.1. Jerarquía de una cuenca.....	18
1.3. Contaminación Hídrica.....	19
1.4. Percepción ambiental en torno al agua.....	19
2. Estado del arte.....	21
2.1. Breve historia sobre la contaminación del agua y su gestión.....	21
2.2. La contaminación del agua en México.....	22
2.3. Estudios socioambientales en torno a la contaminación del agua....	25
2.4. Marco de Referencia Normativo y Legal.....	29
2.4.1. <i>Ley de Aguas Nacionales (LAN)</i>	30
2.4.2. <i>Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente</i> <i>(LGEEPA)</i>	32
2.4.3. <i>NOM-001-SEMARNAT-2021</i>	34
2.5. Historia y conflictos en la subcuenca El Arenal.....	34
3. Área de estudio.....	40
4. Metodología.....	42
4.1. Evaluación de la calidad del agua y fuentes de contaminación.....	42
4.1.1. <i>Delimitación de la cuenca</i>	42
4.1.2. <i>Selección de puntos de muestreo</i>	43

4.1.3. Selección de parámetros químicos y biológicos para analizar ...	45
4.1.4. Toma de muestras y análisis	46
4.2. Análisis social de la problemática	47
4.2.1. Recorridos por las localidades	47
4.2.2. Diseño y aplicación de entrevistas.....	48
5. Resultados y discusión.....	50
Conclusiones.....	69
Referencias bibliográficas	72

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de la subcuenca El Arenal. Fuente:.....	41
Figura 2. Mapa con los puntos de muestreo seleccionados y las fuentes de contaminación detectadas.	44
Figura 3. Perfil Altitudinal del Río El Arenal con información de los puntos de muestreo y principales características de las zonas como referencia..	45
Figura 4. Ubicación de las fuentes de contaminación.....	50
Figura 5. Foto de una posible fuente de contaminacióna..	51
Figura 6. Contaminantes del río que perciben los entrevistados en cada localidad.	58
Figura 7. Actividades que las personas mencionaron solían realizar en el río El Arenal, por localidad.	61
Figura 8. Borregos hurgando en la basura, fotografía tomada en la comunidad de Santa Rosa Jáuregui.	64

Índice de tablas

Tabla 1. Valor instantáneo para los límites máximos permisibles de contaminantes presentes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, como está establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021.....	46
Tabla 2. Resultados de los análisis de agua.....	52
Tabla 3. Perfil de los entrevistados por sitio.	57

Resumen

La contaminación hídrica del Río El Arenal, Querétaro, se relaciona con el crecimiento urbano de la subcuenca y con una infraestructura de saneamiento que no ha respondido al mismo ritmo. El cauce presenta condiciones de drenaje a cielo abierto, lo que afecta su calidad ambiental y la relación de la población con el río. El objetivo fue evaluar la contaminación hídrica en la subcuenca El Arenal desde un enfoque socioambiental, mediante la identificación de fuentes contaminantes, el análisis de la calidad del agua y el estudio de la percepción de las personas que habitan cerca del cauce. La metodología constó de dos etapas. En la primera se identificaron evidencias de contaminación mediante SIG y recorridos de campo, y se analizaron muestras de agua (abril y noviembre de 2024) para DQO, *Escherichia coli* y nitrógeno total. En la segunda se realizaron 39 entrevistas en Jurica, Juriquilla y Santa Rosa Jáuregui. Se identificaron 18 sitios con evidencia de descargas de aguas residuales, 13 de ellas directas al cauce principal. Los resultados mostraron concentraciones elevadas de DQO, contaminación fecal y nutrientes en los sitios evaluados; la NOM-001-SEMARNAT-2021 se usó como referencia para dimensionar la contaminación observada. Las entrevistas mostraron una percepción negativa y preocupación generalizada por el deterioro del río (97% de los entrevistados). Las aguas residuales y la acumulación de basura se señalaron como los principales problemas del río, y se reconoció la responsabilidad tanto de las autoridades como de la propia población. En conjunto, los resultados indican que la contaminación del río se relaciona con el crecimiento urbano, las deficiencias en la infraestructura de drenaje y saneamiento, las prácticas de la población y la atención insuficiente de las autoridades. Por ello, su atención requiere acciones coordinadas entre autoridades y sociedad, orientadas al saneamiento, la vigilancia de las descargas y la participación comunitaria.

Palabras clave: contaminación hídrica, evaluación socioambiental, calidad del agua, percepción social, subcuenca El Arenal.

Abstract

Water pollution in the El Arenal River, Querétaro, is linked to urban growth in the sub-basin and to sanitation infrastructure that has not kept pace. The river channel exhibits conditions of an open-air drainage channel, which affects its environmental quality and the population's relationship with the river. The objective was to assess water pollution in the El Arenal sub-basin from a socio-environmental approach, by identifying pollution sources, analyzing water quality, and examining the perceptions of people living near the channel. The methodology consisted of two stages. In the first, evidence of pollution was identified through GIS and field surveys, and water samples (April and November 2024) were analyzed for COD, *Escherichia coli*, and total nitrogen. In the second, 39 interviews were conducted in Jurica, Juriquilla, and Santa Rosa Jáuregui. Eighteen sites with possible wastewater discharges were identified, 13 of them discharging directly into the main channel. The results showed high concentrations of COD, fecal contamination, and nutrients at the sites evaluated; NOM-001-SEMARNAT-2021 was used as a reference to gauge the pollution observed. The interviews revealed a negative perception and widespread concern about the deterioration of the river (97% of interviewees). Wastewater and accumulated garbage were identified as the main problems affecting the river, and responsibility was attributed both to the authorities and to the population itself. Overall, the results indicate that pollution in the river is linked to urban growth, deficiencies in drainage and sanitation infrastructure, the population's practices, and insufficient attention from the authorities. Therefore, addressing it requires coordinated action between authorities and society, aimed at sanitation, monitoring of discharges, and community participation.

Keywords: water pollution, socio-environmental assessment, water quality, social perception, El Arenal sub-basin.

Introducción

El ser humano, desde sus orígenes, ha mantenido una relación intrínseca con el medio que lo rodea, en un principio, esta interacción se limitaba a satisfacer necesidades básicas como la obtención de alimento, agua y refugio (Rodríguez y Quintanilla, 2022). Sin embargo, con el paso del tiempo, el desarrollo de sociedades más complejas y el avance de tecnologías, permitieron al ser humano no solo lograr satisfacer sus necesidades vitales sin depender de la caza o la temporalidad de las plantas, sino también lograr cubrir las necesidades psicosociales además de las superfluas que le brindan comodidades (Rodríguez y Quintanilla, 2022; Aguado *et al.*, 2012). Así, surgieron prácticas como la agricultura a gran escala, la urbanización y, posteriormente, la industrialización (Rodríguez y Quintanilla, 2022).

Estos avances, aunque significativos en términos de progreso, marcaron el inicio de una creciente separación entre el ser humano y la naturaleza, dando lugar a una relación utilitaria y desequilibrada que ha tenido profundas consecuencias para el planeta que afectan de manera negativa a las comunidades humanas (Aguado *et al.*, 2012; Holdren y Ehrlich, 1974).

La explotación indiscriminada de los recursos naturales, impulsada por intereses económicos y enmascarada bajo la narrativa del progreso y el bienestar humano, ha tenido consecuencias profundas en la relación entre las comunidades y los ecosistemas (Rodríguez y Quintanilla, 2022). Este fenómeno, inherente a los sistemas económicos que priorizan el crecimiento y la acumulación de capital, ha llevado a una desconexión significativa entre las sociedades humanas y los entornos naturales de los que dependen (Dietz y Rosa, 1994; Holdren y Ehrlich, 1974).

El resultado de esta desconexión ha sido devastador. La contaminación de ríos, mares y suelos, la deforestación masiva, la pérdida de biodiversidad y el cambio climático son solo algunos de los efectos negativos que han surgido como

consecuencia del modelo de desarrollo actual (Novoa *et al.*, 2007; Rodríguez y Quintanilla, 2022). Estas alteraciones tienen un impacto directo mayormente negativo en las comunidades humanas especialmente en los sectores sociales más vulnerables (comunidades indígenas, poblaciones marginadas, poblaciones en zonas de riesgo ante desastres naturales) (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014).

El agua, el recurso más importante para la vida, es uno de los más afectados por las actividades humanas, se estima que alrededor del 80% de las aguas residuales en el mundo, se vierten al ambiente sin un tratamiento adecuado (Koncagül *et al.*, 2021). La contaminación de fuentes hídricas, la sobreexplotación de acuíferos y las alteraciones en el ciclo hidrológico debido a la deforestación, contaminación atmosférica y a la urbanización, han puesto en riesgo su disponibilidad y calidad, comprometiendo tanto a los ecosistemas como a las comunidades que dependen de este vital recurso (IPCC, 2023).

En México, la contaminación de los cuerpos de agua epicontinentales (ríos, lagos, lagunas, arroyos, drenes, bordos y embalses), junto con la sobreexplotación y las sequías cada vez más frecuentes, constituye una problemática seria que va en aumento (Torres-Rivera *et al.*, 2023). Los riesgos para la salud derivados de sustancias tóxicas como el cloro, el flúor, los pesticidas, los metales pesados (mercurio, níquel, arsénico y cadmio) y de organismos patógenos como los coliformes fecales presentes en aguas contaminadas, son una preocupación debido a las graves afectaciones a la salud que pueden ocasionar. Los metales pesados consumidos a largo plazo en el agua pueden causar cáncer, enfermedades neuronales y malformaciones en fetos, mientras que los organismos patógenos causan diarrea, cólera, disentería, fiebre tifoidea y poliomielitis, entre otras enfermedades (Fida *et al.*, 2023; Lin *et al.*, 2022).

Las enfermedades gastrointestinales son las más comunes en lugares donde no se cuenta con un acceso al agua potable y los servicios de saneamiento de aguas

residuales o no existen o son ineficientes. Se estima que cada año a nivel global mueren aproximadamente 829,000 personas por estas enfermedades de los cuales 300,000 son niños menores de 5 años (Fida *et al.*, 2023; Lin *et al.*, 2022; Prüss-Ustün *et al.*, 2019).

Además de las consecuencias directas para la salud, la contaminación también se manifiesta en olores poco agradables para el olfato, debido a la presencia de sulfuros generados por la descomposición de materia orgánica, nitrógeno proveniente del uso de fertilizantes sintéticos y del agua residual tanto domiciliaria como industrial, así como ácidos orgánicos y compuestos aromáticos derivados de compuestos fenólicos y otros subproductos de la degradación de materia orgánica y contaminantes industriales (Ramos *et al.*, 2018).

De acuerdo con el informe *Estadísticas del agua en México de 2018* de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en 2017 se muestrearon 3,751 sitios en México, de los cuales solo el 44.6% presentaron una calidad dentro de lo aceptable para la presencia de coliformes fecales, esto considerando que la CONAGUA toma como aceptable en su clasificación una cantidad que vaya igual o menor de los 1000 NMP/100 mL (CONAGUA, 2018), para el informe del 2021 resultado de los monitoreos del 2019 y 2020 la situación es similar, contando únicamente con un 48% de sitios con calidad aceptable y esto considerando que de 3,751 sitios de monitoreo con los que se contaba en el 2017 bajaron a 2763 en 2019 y 2582 en 2020. Estos datos son alarmantes, pues más de la mitad de los sitios muestreados presentan niveles de contaminación altos por coliformes fecales, en gran medida debido a las descargas de aguas residuales sin tratar, concentradas en áreas urbanas.

Los resultados del monitoreo nacional que llevó a cabo la Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua (RENAMECA) en el periodo 2012-2022 destacan a Yucatán, Aguascalientes, Ciudad de México, Estado de México, Guanajuato,

Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Puebla, Querétaro y Tlaxcala como los estados que presentan una mayor contaminación en los sitios de muestreo (CONAGUA, 2024b).

En el estado de Querétaro, los datos publicados por la CONAGUA de muestreos realizados en el año 2022 indican que, de 61 sitios muestreados, solo nueve cuentan con una calidad de agua baja en contaminantes, diez presentan niveles de contaminación medios y 42 un alto grado de contaminación (CONAGUA, 2024b). De los sitios, nueve se encuentran en el municipio de Querétaro, cuatro en el Río Querétaro, cuatro en el Río Pueblito y uno en el embalse de Santa Catarina.

Para conocer mejor la condición de los ríos en el municipio, es necesario el establecimiento de más puntos de monitoreo, ya que a lo largo de los ríos existen embalses, zonas conservadas, parques industriales, poblados con carencias en servicios públicos como el agua y el drenaje, entre otros factores que influyen en las características del agua en cada zona (Larrea Murrell et al., 2022), tener la información de calidad de agua de cada caudal junto con las perspectivas ambientales de la población, es vital para entender las dinámicas que ocurren en el territorio y, de esta manera, diseñar estrategias de rehabilitación de los ríos que se adapten a las condiciones específicas de los distintos afluentes que alimentan al río principal.

Es en este contexto donde las cuencas hidrográficas constituyen unidades naturales ideales para estudiar el origen y la dinámica de los contaminantes del agua, ya que están delimitadas por barreras geográficas que definen el flujo del agua superficial hacia un mismo punto de descarga (Swallow *et al.*, 2001; Cotler, 2007). Esta delimitación permite identificar fuentes de contaminación, evaluar su impacto en los ecosistemas y por ende en las personas que habitan en este, para con ello diseñar estrategias de gestión integral para el mejoramiento y conservación del ambiente (Cotler, 2007; Torres *et al.*, 2013).

En la Cuenca de Querétaro se encuentra la subcuenca El Arenal, la cual se encuentra bajo una serie de presiones socioambientales derivadas principalmente del crecimiento urbano descontrolado, la expansión industrial y las deficiencias en la infraestructura de saneamiento. Estas presiones han generado múltiples impactos sobre el entorno, entre los cuales destaca la contaminación del agua, que constituye uno de los principales indicadores del deterioro ambiental de la subcuenca (Museo del Agua, 2025).

En la subcuenca del Río El Arenal, la contaminación hídrica se ha convertido en un problema recurrente y acumulativo, resultado de descargas domésticas e industriales con tratamiento pobre o nulo, escurrimientos agrícolas, y procesos de urbanización que modifican el flujo natural del agua y reducen su capacidad de depuración. Este conjunto de factores ha deteriorado de manera significativa el ecosistema acuático y con ello afectando a la salud y bienestar de las poblaciones locales.

Aunque en la cuenca existen diversos problemas socioambientales, como el cambio de uso de suelo, la pérdida de vegetación y la presión sobre los acuíferos, el enfoque de este estudio se centra en la contaminación del agua, pues es uno de los procesos más visibles y críticos en términos de sus repercusiones ecológicas y sociales. Comprender su origen, magnitud y dinámica dentro de la subcuenca es fundamental para elaborar estrategias de gestión para su mitigación.

Planteamiento del problema

El municipio de Querétaro en las últimas décadas ha experimentado un crecimiento urbano acelerado y sin una planeación adecuada, de acuerdo con los censos de INEGI de 1970 a 1980 la población prácticamente se duplicó pasando de 163,063 habitantes a 293,586 y para el año 2010 la población aumentó cinco veces respecto al censo de 1970 llegando a los 801,940 (INEGI, 1970; INEGI, 1980; INEGI, 2010).

Parte de este crecimiento fue causado por una ola de inmigración tanto motivada por la búsqueda de empleos y mejores condiciones de vida, ya que Querétaro ha presentado una expansión en actividades industriales con la llegada de empresas como TREMEC, Massey Ferguson, Equipos Nacionales, Laboratorios Vineland de México, Bombas Alemanas, Xolox, Cardanes y Tecnomac, entre otras (Ochoa-Ramírez *et al.*, 2019). Estas industrias abarcan diversos sectores, principalmente en la manufactura y tecnología.

Este crecimiento se ha dado de manera horizontal (expansión urbana hacia los alrededores, extendiéndose a zonas urbanas) y vertical (aumento en el número de edificios), convirtiendo áreas anteriormente rurales en zonas urbanas y expandiendo la ciudad hacia la periferia, lo que ha fragmentado las áreas verdes y alterado el paisaje natural (Alanís, 2024). A esto se suma la falta de servicios públicos, en especial los de drenaje y tratamiento de agua lo que ha comprometido la calidad ambiental y aumentado los riesgos a la salud, para las personas que habitan en las riberas y a las que realizan actividades cerca del río.

En este contexto, la subcuenca El Arenal en Querétaro se presenta como un espacio pertinente para indagar sobre las posibles relaciones entre el crecimiento urbano, la disponibilidad de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales y las implicaciones ambientales y sociales asociadas. Este estudio busca analizar el conflicto socioambiental en torno a la contaminación del Río El Arenal.

El ver la problemática de la contaminación desde el enfoque de cuenca permite entender las dinámicas sociales y ambientales que están influyendo en el conflicto. El conocer la percepción social y tener datos sobre la calidad del agua dentro de la cuenca permiten conocer más a fondo la relación de las personas con la problemática y con ello desarrollar estrategias de gestión y manejo compatibles con las formas de pensar de las comunidades además de facilitar el definir zonas prioritarias para la intervención.

Justificación

La crisis hídrica actual representa un desafío urgente que demanda atención inmediata. En el caso de la subcuenca del Río El Arenal, la contaminación del agua no solo es un problema ambiental, sino también una amenaza para la salud pública y el bienestar de las comunidades locales. La exposición a aguas contaminadas puede generar enfermedades gastrointestinales, cutáneas y otras afecciones que impactan directamente en la calidad de vida de los habitantes (Lin et al., 2022). Además, la degradación del río ha afectado al ecosistema acuático, reduciendo la biodiversidad y alterando los servicios ecosistémicos que este brinda.

Este estudio busca integrar perspectivas interdisciplinarias y transdisciplinarias, combinando análisis técnicos de la calidad del agua con la percepción social de las comunidades afectadas. Este enfoque permitirá no solo conocer el grado de contaminación, sino también entender cómo las personas perciben y se relacionan con el río, lo cual es fundamental para diseñar estrategias de rehabilitación que sean aceptadas y apoyadas por la población.

Los resultados de este estudio proporcionarán información valiosa tanto para las instituciones académicas como para las autoridades locales y estatales que les permitirá determinar las acciones de intervención pertinentes de acuerdo con el nivel de contaminación de las zonas y de la disposición de los habitantes a participar en estas acciones.

Objetivos.

General:

- Evaluar la condición socioambiental de la contaminación de agua en la subcuenca El Arenal.

Específicos:

- Localizar fuentes de contaminación cercanas al Río El Arenal.
- Analizar la calidad de agua del cauce principal de la subcuenca, mediante el análisis de parámetros relacionados con materia orgánica, patógenos y nutrientes.
- Evaluar la percepción de la población de las localidades cercanas al Río El Arenal sobre la contaminación del cauce y los impactos asociados.

1. Marco conceptual

El presente marco conceptual pretende la integración transdisciplinar de los sistemas natural y social, con el objetivo de analizar el problema de la contaminación hídrica dentro de la subcuenca El Arenal y comprender su impacto a través de la percepción ambiental de sus habitantes.

1.1. El Enfoque Socioambiental

Desde hace más de cinco décadas, diversas disciplinas como la geografía, la sociología, la ecología y la economía han participado en discusiones para abordar conjuntamente problemáticas complejas como el cambio climático y la contaminación (Iñiguez, 1996). Esta convergencia dio origen al enfoque socioambiental, el cual rompe con la separación antropocentrista tradicional para promover una visión más integradora. En este contexto, la naturaleza y la sociedad se conciben como un mismo sistema interconectado (Castro, 2011).

El término socioambiental aborda tanto al patrimonio natural como al patrimonio cultural o artificial de la sociedad (Geba *et al.*, 2010). En este contexto, las investigaciones en lo socioambiental son un análisis sistemático de las interacciones mutuas entre la sociedad y el ambiente (Pulver *et al.*, 2022). Analizando de manera transdisciplinar las interacciones entre el ser humano y la naturaleza, reconociendo que los cambios en uno de estos sistemas repercuten directamente en el otro de manera bidireccional.

En el ámbito socioambiental, lo ambiental incluye todo lo natural en lo que el ser humano podría tener una afectación poco significativa si este no existiera, como lo son los ecosistemas, la biodiversidad, los recursos naturales, el clima, el paisaje geográfico, entre otros, mientras que lo social es todo lo relacionado con el ser humano, sus formas de organización, cultura, sistemas económicos, sistemas políticos, edificaciones, arte e historia (Geba *et al.*, 2010). Cabe señalar que el ser

humano forma parte del ambiente en sí, pero al ser un actor que en sociedad tiene un alto impacto en lo natural, se separa de lo ambiental para poder estudiar esta interacción sociedad-ambiente y las consecuencias de estas mismas entre ambos sistemas (Jiménez, 2015).

1.1.1 Evaluación de Impacto Socioambiental

Dentro de este enfoque, la Evaluación de impacto Socioambiental (EIS) es una herramienta fundamental. Este proceso busca identificar, predecir, evaluar y mitigar los impactos sociales y ambientales de un proyecto, política o, como en este caso, analizar situaciones socioambientales ya existentes (Domínguez, 2022). En esta investigación, la EIS es el marco que permite combinar el análisis de la calidad del agua (datos técnicos) con el componente social (percepción comunitaria), buscando una comprensión holística de la problemática de la contaminación del río en la subcuenca El Arenal.

1.2. Subcuenca como Unidad de Gestión Territorial

De manera simultánea al desarrollo del enfoque socioambiental, el modelo de gestión centrado en el agua comenzó a ganar relevancia, utilizando unidades territoriales naturales llamadas cuencas hidrográficas (Cotler, 2007). Una cuenca se define como un territorio delimitado por un parteaguas que dirige las aguas superficiales hacia un cauce común, siendo el agua el eje rector que conecta los diferentes componentes del sistema (Musalem *et al.*, 2014).

Estos espacios no solo incluyen elementos naturales (ríos, suelos, vegetación) sino también aspectos sociales, económicos y políticos que interactúan entre sí. Por ello, la cuenca es considerada como una unidad territorial ideal y básica para el desarrollo de planes de manejo y gestión de los recursos naturales y el sistema socioambiental que está inmerso en ella (Cotler, 2007; Vásquez *et al.*, 2016).

1.2.1. Jerarquía de una cuenca

Dado que una cuenca puede abarcar una extensión territorial considerable, lo que puede dificultar los trabajos de investigación e intervención, en ocasiones es necesario dividirla en unidades espaciales más pequeñas que mantienen las características propias de una cuenca, organizándose jerárquicamente en cuenca, subcuenca y microcuenca (Aguirre Núñez, 2011). Esta organización también ayuda a generar una planeación por niveles lo que facilita enfocar que tipo de acciones se deben de tomar dependiendo el nivel: A nivel de cuenca, se identifican las áreas prioritarias y se define una planeación general, en la subcuenca, se establecen las estrategias y acciones para identificar y atender las problemáticas; mientras que en la microcuenca, se trabaja directamente en las problemáticas locales, con la participación de las comunidades para buscar soluciones que mejoren su calidad de vida (Cotler y Caire, 2009).

Un ejemplo de esta organización se presenta en el estudio de Torres Beristáin et al. (2013), realizado en el estado de Veracruz, México. A partir de la cuenca del río Jamapa, los autores delimitaron como área de estudio la subcuenca del río Seco, con una extensión de 43,816 hectáreas que comprende parte del territorio de 12 municipios. El análisis a nivel de subcuenca permitió obtener un panorama general de la distribución de la población y reconocer las zonas de interés para la investigación. Posteriormente, la división de la subcuenca en cuatro microcuencas (Xocotla, Coscomatepec, Córdoba y San Rafael Río Seco) permitió analizar con mayor detalle las problemáticas locales e identificar fuentes de contaminación urbanas y rurales que afectan la calidad del agua. De esta manera, el estudio muestra cómo trabajar con unidades territoriales más pequeñas facilita el diagnóstico de las problemáticas y permite orientar las acciones hacia zonas específicas.

1.3. Contaminación Hídrica

El agua, al ser un conector de los procesos ecológicos, permite el transporte de nutrientes y sedimentos, participa en los ciclos del carbono y del nitrógeno y mantiene la conectividad entre los ecosistemas. Sin embargo, también es uno de los componentes más susceptibles a las alteraciones generadas por las actividades humanas dentro de una subcuenca. La presión ejercida por actividades como la urbanización, la agricultura y la industria puede afectar la calidad del agua y manifestarse en forma de contaminación hídrica.

La contaminación es la introducción de sustancias, ruido, materia o energía (calor, radiación) al ambiente natural, que altera en mayor o menor medida los ciclos ecológicos e impacta directamente a los organismos vivos (Martín y Santamaría, 2004). En el caso del agua, la contaminación puede originarse tanto por vertidos industriales y aguas residuales domésticas (fuentes puntuales), como por escorrentías agrícolas con agroquímicos y sedimentos, así como el arrastre de residuos sólidos urbanos (fuentes difusas) (Aguilar-Ibarra et al., 2006).

1.4. Percepción ambiental en torno al agua

Para complementar el análisis técnico de la contaminación, resulta fundamental incorporar la perspectiva social a través de la Percepción Ambiental. Esta se define como la manera en que los habitantes de una región interpretan, sienten y valoran su entorno, lo cual influye directamente en sus actitudes y decisiones frente a los problemas ecológicos (Cunha et al., 2010).

En el contexto específico de la contaminación del agua, la percepción ambiental nos permite comprender no solo la magnitud de la contaminación, sino también cómo los habitantes la perciben y se ven afectados por ella, ya sea de forma visual, por la presencia de olores o por sus efectos en la salud.

Este componente social es un indicador crucial para el diseño de estrategias de gestión y mitigación, ya que asegura que las soluciones propuestas sean coherentes con el conocimiento local y la disposición a la participación comunitaria. Así, al contrastar la caracterización de la contaminación hídrica mediante indicadores técnicos con la percepción ambiental de los afectados, la evaluación socioambiental ofrece una visión integral de la problemática de la subcuenca, sentando las bases para proponer soluciones más efectivas y sostenibles.

2. Estado del arte

2.1. Breve historia sobre la contaminación del agua y su gestión.

Desde que el ser humano empezó a ser sedentario, empezó a establecer sus grandes ciudades en las zonas ricas en agua dulce, un recurso indispensable para la vida. El desarrollo de la agricultura favorecida por el acceso al agua no solo favoreció la supervivencia de grandes grupos de humanos, sino que permitió el surgimiento de las primeras civilizaciones.

El crecimiento poblacional en un único lugar producto del establecimiento de pueblos y ciudades trajo consigo un problema que persiste hasta los días de hoy, la acumulación de desechos humanos, que ya no podían ser eliminados fácilmente mediante métodos simples como enterrarlos (Lofrano y Brown, 2010). Esta acumulación generó problemas graves, desde malos olores hasta riesgos significativos para la salud pública (Aiello *et al.*, 2008).

Las antiguas civilizaciones implementaron diversas soluciones para enfrentar estos problemas, algunas optaron por almacenar los desechos en recipientes y transportarlos lejos del área habitada, arrojándose frecuentemente a ríos cercanos, otras desarrollaron sistemas más avanzados, como complejos sistemas de drenaje que alejaban las aguas residuales de las ciudades, mejorando así las condiciones sanitarias y reduciendo los riesgos para sus habitantes (Webster, 1962; CONAGUA, 2009; Lofrano y Brown 2010).

Un ejemplo es el imperio romano el cual tenía uno de los sistemas de drenaje más avanzados para su época y eran excelentes en la gestión del recurso hídrico, las aguas negras eran separadas de las fuentes de agua limpia por medio de tuberías que disponían las residuales en un río lejos de la ciudad, lo que mantenía las calles limpias y sin malos olores (Hopkins, 2007). Aunque esto contamina el agua del río, la carga no era proporcional a la de las ciudades actuales y podía ser

absorbida por el ecosistema acuático. Sin embargo, históricamente cuando una civilización avanzada en temas de gestión del agua y tecnología de drenaje llega a su fin, sus avances tecnológicos normalmente se pierden o caen en desuso.

La caída del imperio romano está seguida de una época oscura de más de mil años donde son pocas las ciudades europeas que tratan de tener un buen manejo de los desechos humanos para mantener sus ríos limpios (Lofrano y Brown, 2010).

La llegada de la revolución industrial trajo aún más problemas para los ríos, pues ahora no solo era el agua residual urbana, sino también el agua residual industrial aún más perjudicial para los ecosistemas y las personas que tuvieran contacto con la misma (Jarrige y Roux, 2020). Este fenómeno se agudizó con el rápido y, en muchos casos, desordenado crecimiento de las ciudades, que a menudo carecieron de una planificación adecuada para manejar las crecientes descargas (Xu *et al.*, 2019).

Actualmente, este problema afecta de manera más pronunciada a los países en desarrollo debido a la insuficiencia de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales. La falta de sistemas eficientes de canalización y depuración de aguas residuales y pluviales, asociada a la expansión urbana descontrolada, exacerba esta situación (Xu *et al.*, 2019). En contraste, países desarrollados como Estados Unidos y algunas naciones europeas han modernizado sus sistemas de drenaje y construido plantas de tratamiento de agua avanzadas, logrando una reducción sustancial de las descargas residuales y mejorando sus ríos (Xu *et al.*, 2019).

2.2. La contaminación del agua en México

En México prácticamente todos los ríos urbanos se encuentran altamente contaminados principalmente por descargas de aguas domiciliarias sin tratamiento

o con uno deficiente, que, desde una perspectiva de cuenca, el impacto que esto genera no se queda solo en el entorno urbano, sino que se transporta por todo el trayecto que toma el agua, afectando a los ecosistemas dentro de la cuenca como a las comunidades humanas que se encuentren río abajo (CONAGUA 2018).

Las investigaciones en México que tratan el tema de la calidad de agua en ríos urbanos abordan desde solo análisis de calidad, estudios de remediación, percepciones sociales, hasta estudios socioambientales donde se trata de llegar a la causa del problema y con ello desarrollar estrategias plausibles para solucionar los problemas.

Por ejemplo, Ramos-Herrera *et al.* (2012), llevaron una investigación que analiza datos de monitoreos llevados a cabo en ríos de Tabasco en un periodo de 1978 a 2012 utilizando la demanda química de oxígeno (DQO), el Oxígeno Disuelto y los Sólidos Suspendidos Totales como parámetros con los cuales analizaron las tendencias de la calidad de agua, esto con el fin de evaluar si los planes de manejo del agua afectan positivamente en la calidad del agua, en este caso sí se vio una disminución en los contaminantes. Este artículo deja precedente de la importancia de que se mantengan monitoreos en los cuerpos de agua por lo menos anuales, para poder tomar medidas a tiempo en caso de aumentos en la contaminación que afecten la calidad del agua a futuro.

De igual manera Ibararán *et al.*, (2017) en su investigación titulada *Determinantes Socioeconómicos de la Calidad del Agua Superficial en México*, emplearon un análisis econométrico utilizando datos de calidad del agua desde 2003 hasta 2012 con los mismos parámetros fisicoquímicos que Ramos-Herrera (2012), con el objetivo de identificar cómo las actividades económicas y la densidad poblacional afectan la calidad del agua en las distintas regiones hidrológicas revelando que ambas variables tienen un impacto negativo significativo en la calidad del agua, con el aumento de la contaminación correlacionado estrechamente con la intensificación de estas actividades, además de detectar que el incremento en el

número y capacidad de las plantas de tratamiento de agua ha tenido poco efecto en la mejora de la calidad del agua y, en algunos casos, ha sido contraproducente.

Torres *et al.* (2013) utilizan los sistemas de información geográfica para seleccionar puntos clave a lo largo de un río en base a información específica de la cuenca como es la red hidrográfica, uso de suelo, pendientes, localidades entre otras. Con ello llevan a cabo un muestreo para analizar la calidad del agua utilizando como parámetros clave la DQO, coliformes fecales y nitrógeno total (NT), teniendo en cuenta que el posible principal origen de la contaminación son las descargas domiciliarias y escorrentías provenientes de las zonas agrícolas.

Jujnovsky *et al.*, (2017) proponen una visión transdisciplinaria para la evaluación de los servicios ecosistémicos que incluye el factor social, económico y ambiental, siendo un método útil para regiones en desarrollo donde no se tienen muchos datos, siendo su zona de estudio la cuenca del Río Magdalena, en este estudio mencionan los parámetros esenciales para determinar la calidad del agua, mencionando la emanda bioquímica de oxígeno, los coliformes fecales, el NT y los sólidos disueltos y suspendidos. Perló y Saenz (2017) hacen un análisis de las perspectivas de los habitantes de la misma cuenca utilizando encuestas aplicadas a los habitantes de la ribera del río, con el fin de ver la disposición de los habitantes a sumarse a los esfuerzos de recuperación del río, denotando que el tema de la contaminación les afecta en la calidad de vida, pero aun así muy pocos participan en actividades de limpieza en el río, pues no se sienten culpables.

La calidad del agua en México es un tema ambiental con grandes impactos, particularmente en las regiones urbanas y agrícolas. Parámetros como la DQO, el NT y los coliformes fecales se utilizan a menudo para evaluar el grado de contaminación en ríos urbanos y particularmente CONAGUA utiliza en conjunto con otros para señalar el grado de contaminación de un cuerpo de agua (CONAGUA 2024). Estos parámetros están influenciados por diversas fuentes, entre ellas las aguas residuales urbanas, la escorrentía agrícola y las descargas industriales. La

expansión urbana, la deforestación y la erosión del suelo son factores que agravan esta situación.

2.3. Estudios socioambientales en torno a la contaminación del agua

La contaminación del agua es un problema socioambiental crítico que afecta a los ecosistemas, la salud humana y las actividades económicas a nivel mundial. Por ello es común que en los estudios socioambientales se suele abordar esta problemática analizando desde las actividades que la generan, la percepción de las comunidades que se ven afectadas y las problemáticas político, económicas y sociales que se desprenden del mismo problema.

Algunos ejemplos son el trabajo de Carranza *et al.* (2020) en el cual examinan los conflictos socioambientales en Chile, identificando 283 proyectos relacionados con la minería, energías y a la agricultura los cuales generan contaminación del agua, entre otros impactos, afectando tanto a la biodiversidad como a las comunidades locales. Este análisis lo hizo a través de la revisión de noticias en un periodo de 2004 al 2018. Destacan la falta de políticas públicas efectivas para la atención de estos problemas y menciona la necesidad de atender los problemas desde un enfoque socioambiental.

De igual manera Reboratti (2012) lleva a cabo una revisión de antecedentes a través de noticias y otros medios de información con las cuales analiza los conflictos socioambientales en Argentina, centrándose en cómo la minería y otros proyectos extractivos generan impactos ambientales, especialmente contaminación del agua, lo que ha desencadenado protestas locales y enfrentamientos entre comunidades, empresas y gobiernos. Menciona los casos de las localidades de Esquel y Gualaguaychú, donde se generaron movilizaciones ciudadanas donde para el caso de Esquel se logró frenar un proyecto minero mientras que, en Gualaguaychú, aunque no se logró impedir la construcción de una planta de celulosa que podría contaminar el agua del río Uruguay, sin embargo, sí se logró

visibilizar el problema y generar una conciencia ambiental. Esto hace ver la falta de políticas públicas efectivas y la falta de diálogo entre los actores involucrados (sociedad, empresas y gobierno).

Estos estudios demuestran la complejidad de los conflictos socioambientales y la necesidad de un enfoque integral. Ampliando esta perspectiva a problemáticas más directamente relacionadas con la contaminación hídrica por urbanización y gestión deficiente, se observan patrones recurrentes en diversas regiones.

En San Luis Potosí López-Mares *et al* (2019) llevaron una investigación en los ríos Santiago, Española y Paisanos, los cuales han sufrido grandes modificaciones en sus cauces producto del crecimiento urbano, los ríos Española y Santiago han sido canalizados afectando el ecosistema en pro del desarrollo urbano, mientras que el río Paisanos si bien mantiene aún características naturales, éstas están degradadas y se encuentra bajo una presión agrícola, todos ellos se encuentran altamente contaminados y son percibidos por las personas como lugares peligrosos y fuentes de contaminación además, rompiendo el vínculo social con el ecosistema acuático dejando de verlo como una fuente de vida, cambiando el comportamiento hacia este viéndolo como un vertedero.

Barra *et al.* (2022) en Brasil evaluaron la calidad del agua mediante el Índice de Conformidad al Cumplimiento (ICE), observando que la expansión urbana y vial ha generado una degradación significativa en la calidad del agua poniendo en riesgo el uso seguro del recurso. Calvo-Brenes y Mora-Molina (2015) en Costa Rica llevaron una evaluación temporal de la calidad del agua en los ríos Tigre y Rincón, aplicaron un Índice Holandés de calidad de agua y análisis de coliformes fecales en época seca y lluviosa, los resultados que obtuvieron denotan un alto nivel de contaminación por aguas domiciliarias sin tratar, lo que tiene un efecto negativo en el ecosistema y sobre las actividades tanto económicas como recreativas de la zona poniendo en riesgo la salud de las personas. Igualmente, en Costa Rica Arce-Villalobos *et al.* (2022) en un análisis de calidad de agua en el río Poás, aunque

obtienen resultados de regulares a buenos, detecta niveles de contaminación por aguas domiciliarias sin tratar durante la temporada de lluvias. En Colombia Santamaría-Zárate *et al.* (2021) a través de un análisis multitemporal de parámetros fisicoquímicos detectan una mejoría en la calidad después de aplicar protocolos para la mejora de la calidad del agua. sin embargo, en los parámetros de demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno no hubo mejora, denotando el alto impacto que tienen las aguas residuales domiciliarias sin tratar.

En México Peniche (2025) realizó una investigación en la cuenca alta del río Grande de Santiago, Jalisco donde detectó la presencia de metales pesados los cuales están relacionados con la insuficiencia renal, daños neurológicos y hepáticos, que sufren los pobladores de la cuenca. A través de este estudio señala que la condición de deterioro de la cuenca se debe a las malas políticas hídricas del país y el modelo de desarrollo económico en el que se depreda a la naturaleza en pro del beneficio económico, favoreciendo con ello al crecimiento urbano a su paso.

Lo que menciona Peniche se puede ver en el trabajo de Rodríguez *et al.* (2017) donde la contaminación del agua por vertidos de la industria destiladora de agave en Tonaya, Jalisco, se trató por parte de las instituciones gubernamentales, aplicando medidas que funcionaron, lamentablemente con el tiempo se generó un desinterés en este campo y los problemas de contaminación volvieron a surgir en conjunto con otros problemas socioambientales de la región producto de esta industria que favorece al monocultivo.

Esta problemática proveniente de las formas de gestionar el agua, y al poco interés político y los modelos económicos que favorecen el extractivismo no sólo se da en México sino en todo el mundo y estos son desencadenantes de conflictos sociales que llevan a movimientos de huelgas y levantamientos en busca de que sean atendidas las problemáticas ambientales y son generalmente las comunidades más vulnerables las que llevan a cabo acciones de manifestación, mayormente

grupos indígenas que ven comprometido el acceso a los recursos naturales, principalmente el agua (Wagner, 2010; Godoy, 2022).

Es común que en estas investigaciones los análisis técnicos se acompañen también con investigaciones de gabinete a profundidad con el fin de recopilar suficiente información histórica y técnica que contextualice al investigador sobre las problemáticas socioambientales en el área en la que realiza su investigación, además el uso de herramientas que les permitan obtener información cualitativa sobre las percepciones y perspectivas locales mismas que son recalçadas por su importancia para abordar de mejor manera la parte social, esto es acompañado inicialmente por métodos propios de la etnografía, como son, el método etnográfico el rapport y la técnica bola de nieve para identificar actores clave. (Godoy, 2022; Sepúlveda, 2015; Ávila, 2004).

Ortega Armenta *et al.* (2012) Denotan la necesidad de brindar herramientas a las comunidades para que sepan abordar las problemáticas ambientales con el fin de aumentar la participación comunitaria en las decisiones gubernamentales que puedan afectarles.

En Querétaro, Pedroza (2021), reafirma lo dicho anteriormente, en su trabajo una de las actividades que afectan directamente al agua son la agricultura y la ganadería, para subsanar esta problemática entre otras, desarrolló un sistema agroecológico participativo que sirva de base para el diseño y construcción de futuras ciudades más ecológicas.

Cañizares (2024) vuelve a recalcar la importancia de brindar herramientas a las comunidades en materia ambiental proponiendo la educación ambiental no formal para llevarlo a cabo. Menciona la falta de conocimientos ambientales en su zona de estudio, pero a su vez las ganas que los habitantes mostraron a adquirir los conocimientos que se les brindaron, señalando que hay interés y disposición en

aprender sobre temas ambientales, pero faltan herramientas y medios para que estos conocimientos lleguen a más personas.

2.4. Marco de Referencia Normativo y Legal

La gestión y protección del recurso hídrico en México se sustenta en un sólido marco jurídico-normativo, esencial para abordar problemáticas como la contaminación, inicia en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en la que se establece en el artículo 4, el derecho de todas las personas a un ambiente sano el cual debe estar garantizado por el estado, habiendo sanciones a quien genere un daño al mismo (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 1917). También especifica que todas las personas tienen el derecho al acceso, disposición y saneamiento de aguas para consumo personal y doméstico, lo cual debe estar garantizado por el estado y debe estar garantizado que sea salubre, suficiente y asequible.

En el artículo 27 de la constitución se establece que las aguas dentro del territorio mexicano son originalmente propiedad de la Nación, la cual tiene derecho de transmitir el derecho de estas a privados, pudiendo expropiar mediante una debida indemnización y teniendo que ser únicamente por causa de ser de utilidad pública. La explotación de los recursos naturales, las aguas en su defecto solo podrán ser explotados mediante concesiones otorgadas por el ejecutivo federal, conforme lo dicten las leyes.

El artículo 115 establece que los municipios tienen a su cargo las siguientes funciones y servicios públicos con respecto al agua: Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales.

Del artículo 27 se crea la Ley de Aguas Nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación en el año de 1992 teniendo su última reforma en el 2023. Con el objetivo de regular del uso de las aguas nacionales, su distribución, control

y preservación de su cantidad y calidad con el fin de lograr un desarrollo sustentable integral (Ley de Aguas Nacionales, 1992).

2.4.1. Ley de Aguas Nacionales (LAN)

Esta Ley presenta varios artículos que competen en el tema de la gestión del agua, la contaminación, calidad y el tratamiento de las aguas, además de establecer a la CONAGUA como órgano con capacidades jurídicas para tratar estos temas y gestionar el recurso, siendo esta la autoridad administrativa en México encargada de la gestión y regulación de los recursos hídricos del país (Ley de Aguas Nacionales, 1992).

En el artículo 7 se deja en claro que la gestión del agua debe ser orientada a nivel de cuencas hidrográficas, como prioridad; se deben proteger, mejorar y conservar todos los cuerpos y fuentes de agua conforme a las Normas Oficiales Mexicanas. Se deben instalar dispositivos de monitoreo de cantidad y calidad de agua. Se deben tomar medidas para el mejoramiento de la calidad de las aguas residuales para evitar contaminar lo menos los cuerpos de agua.

En el artículo 9, se designa a la CONAGUA como órgano encargado de hacer cumplir esta Ley. Con capacidades de otorgar concesiones del recurso hídrico y de aplicar sanciones correspondientes al mal uso de este.

En el artículo 29 se mencionan las obligaciones de los concesionarios de agua, siendo la principal el que deben garantizar que sus descargas cumplan con las condiciones necesarias para garantizar el equilibrio de los ecosistemas. En la primera repetición del artículo 29 se detallan las obligaciones de los concesionarios en cuanto a garantizar la calidad de sus aguas residuales conforme a los parámetros referidos en las Normas Oficiales Mexicanas, además deberán asumir las responsabilidades en caso de provocar daños ambientales.

El artículo 86 establece las obligaciones de la CONAGUA en relación con la gestión y conservación de la calidad del agua en México. Entre sus responsabilidades, se incluye el monitorear y mejorar la calidad del agua en cuencas y acuíferos conforme a las Normas Oficiales Mexicanas. La autoridad está encargada de inspeccionar y verificar el cumplimiento de las normativas vigentes para preservar la calidad de las aguas nacionales y realizar monitoreo sistemático de la calidad del agua, manteniendo actualizados los inventarios nacionales de plantas de tratamiento y descargas de aguas residuales.

El artículo 87 establece que la CONAGUA, como autoridad competente, es responsable de determinar los parámetros y límites para las descargas en cuerpos de agua nacional. Estas regulaciones se formalizan mediante Declaratorias de Clasificación, que son publicadas en el Diario Oficial de la Federación para asegurar su cumplimiento.

El artículo 119 establece los motivos por los cuales la CONAGUA puede imponer sanciones, mientras que del artículo 120 al 123 se establecen las penas y multas correspondientes a las faltas cometidas.

La primera repetición del artículo 124, toma a consideración la denuncia popular ante afectaciones del recurso, mencionando textualmente “Toda persona, grupos sociales, organizaciones ciudadanas o no gubernamentales, asociaciones y sociedades, podrán recurrir a la denuncia popular en los términos del Capítulo VII de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, cuando se cometan actos que produzcan o puedan producir desequilibrios o daños a los recursos hídricos o sus bienes inherentes”.

2.4.2. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).

Esta ley se publicó por primera vez en el diario oficial de la federación en 1988 y su última actualización fue en 2024 (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 1988).

El primer artículo establece varias bases que abordará la ley enfocada a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, estando entre ellas la prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo, estableciendo directrices para el manejo, prevención y control de la contaminación de las aguas, incluyendo tanto aguas superficiales como subterráneas. Define los criterios para el establecimiento de limitaciones y especificaciones sobre descargas de contaminantes a cuerpos de agua.

El artículo 117 establece criterios clave para la prevención y control de la contaminación del agua, enfatizando su importancia para preservar la disponibilidad del recurso y proteger los ecosistemas. Tanto el Estado como la sociedad tienen la responsabilidad de evitar la contaminación de todas las fuentes de agua.

La LGEEPA aborda artículos que ya considera la Ley de Aguas Nacionales, pero parece que los desglosa de una mejor manera para poder conseguir una mejor conservación en el equilibrio de los ecosistemas, siendo el capítulo 3 exclusivo para el tema de la prevención y control de la contaminación del agua, abarcando desde el artículo 117 hasta el 133, todos enfocados en temas de responsabilidad de los diferentes niveles de gobierno en los temas de la calidad del agua que se vierte a los cuerpos de agua, retoma la responsabilidad que tienen los actores responsables de contaminar el recurso y las sanciones a las que pueden ser acreedores.

Para el caso en específico de Querétaro existe la ley que regula la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento del estado de Querétaro (Dirección de Investigación y Estadística Legislativa, 2022).

De acuerdo con los artículos 1 y 2 se establece que esta ley tiene como objetivo regular los servicios públicos relacionados con el agua, incluyendo el tratamiento y disposición de las aguas residuales y su reutilización.

El artículo 7 describe las funciones del sistema estatal de aguas del estado de Querétaro, las cuales van enfocadas a la prestación de los servicios entre ellos el tratamiento y disposición de aguas residuales, incluyendo la recirculación y reutilización de dichas aguas.

Uno de los artículos que más compete en esta investigación es el Artículo 56, que dice lo siguiente “Los desarrolladores, deberán construir por su cuenta las instalaciones y conexiones de agua potable, potabilización y alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, e infraestructura necesaria, de conformidad con el proyecto autorizado por la autoridad competente y las especificaciones del prestador de los servicios”.

Los artículos 96 y 97 señalan las obligaciones de los prestadores de servicios, siendo que las mismas de la repetición del artículo 29 de la ley de aguas nacionales.

Del artículo 99 al 105 se establecen lineamientos y sugerencias que deben cumplir tanto los prestadores de servicios y usuarios no domésticos, con el fin de garantizar que las aguas residuales que se descarguen al drenaje cumplan con la calidad de la normativa.

Son muchos los artículos en esta que tratan sobre las obligaciones de los concesionarios y los usuarios para garantizar que las aguas residuales a nivel

estatal y municipal tengan una calidad de acorde a las normas oficiales mexicanas y la mayoría están relacionadas con el cumplimiento de la ley de aguas nacionales.

2.4.3. NOM-001-SEMARNAT-2021

La norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 establece los límites permisibles de contaminación que deben tener las descargas de aguas residuales que serán vertidas en cuerpos receptores propiedad de la nación. Esta norma es a la que todo concesionario de agua, usuario, empresa debe atender para poder disponer sus aguas residuales en cualquier tipo de cuerpo de agua receptor.

La norma también contempla límites permisibles específicos para las descargas de aguas residuales en suelos destinados al riego agrícola y de áreas verdes, por lo que establece criterios para regular la disposición de estas aguas y reducir sus posibles efectos sobre el ambiente y salud humana.

2.5. Historia y conflictos en la subcuenca El Arenal.

La subcuenca del Río El Arenal ha sufrido grandes perturbaciones en su calidad ambiental debido al acelerado crecimiento urbano propiciado por la migración al estado de Querétaro, acelerando un cambio de uso de suelo de agrícola a urbano para la construcción de grandes residenciales y zonas industriales. Sin embargo, debido a la rapidez con la que se ha presentado la expansión urbana, no siempre ha sido acompañada por una planeación territorial adecuada ni por el desarrollo de infraestructura para cubrir los servicios de la nueva y futura población (Osorio, 2012; Ochoa-Ramírez et al., 2019). Al respecto, Osorio (2012) señala las limitaciones de la infraestructura de drenaje ante el crecimiento de la población y la urbanización en Jurica:

“El drenaje se introdujo en los años ochenta, el problema es que se utilizó una tubería pequeña, no previendo que el pueblo fuera a crecer como lo ha hecho, la urbanización y el crecimiento demográfico que se ha dado en las zonas altas, principalmente en La Campana, agudizó este problema. Hoy resulta más que insuficiente la infraestructura existente, la situación se agrava en la zona baja, en la zona antigua o conocida como barrio de la Capilla, donde los vecinos recurrentemente se inundan...”.

Originalmente, el Río El Arenal era una fuente vital de agua limpia para las comunidades de la subcuenca, donde hace tan solo 50 años, la población local nadaba y pescaba sin temor a enfermarse, además de utilizar sus aguas principalmente para la agricultura de temporal especialmente de maíz (Osorio, 2012).

En las últimas siete décadas, el cauce del río ha sido modificado constantemente, transformándolo en un dren pluvial con el fin de evitar inundaciones, perdiendo las características distintivas de un río (sinuosidad, pozas rápidas, vegetación nativa, etc.) (Osorio, 2012). entre los años ochenta y noventa se dio un crecimiento poblacional acelerado en la cuenca, ocasionado por la expansión industrial que necesitaba de mano de obra, propiciando la inmigración de familias de otros estados que buscaban estas fuentes de trabajo, esto hizo que se desarrollaran nuevas zonas habitacionales cercanas a los parques industriales, el sismo del 85 también propició la inmigración al poblado de Jurica debido a los bajos costos de suelo y de las viviendas sumado a la cercanía de los lugares de trabajo (Osorio, 2012).

El crecimiento fue tan rápido que mucho se hizo sin respetar los planes de desarrollo urbano, esta irregularidad trajo consigo que existan muchos problemas en los servicios públicos como los de alcantarillado, lo que ha contribuido a que este río transporte en su mayoría aguas negras y basura.

Un ejemplo de ello es el fraccionamiento Los Juncos, construido cerca del basurero de Mompaní y ofrecido como un lugar con todos los servicios del municipio, que en 2016 aún no había sido entregado al municipio tras dos administraciones, por lo que sus habitantes carecían de servicios básicos como recolección de basura y alumbrado público (Pacheco, 2016). Según los vecinos, las viviendas se vendieron sin informarles que no contaban con drenaje, las aguas residuales llegaban a tres fosas en las orillas del fraccionamiento, que generaban malos olores e insectos asociados a enfermedades, la planta tratadora existente solo funcionaba de manera ocasional y la CEA negaba su responsabilidad sobre el servicio (Pacheco, 2016).

Por parte de la población de Juriquilla, se han llevado denuncias ante la Comisión Estatal del Agua (CEA) y ante la CONAGUA respecto a descargas sanitarias clandestinas, en el año 2019 colonos de Villas del Mesón y Cumbres del Lago presentaron ante las autoridades municipales, el caso de siete puntos que habían identificado de descargas ilegales, lo que llevó a las autoridades a realizar un recorrido en la zona, logrando identificar un total de 32 descargas (Flores, 2019). Las descargas conectaban directamente con el Río El Arenal por lo que se convertía en un problema que no solo corresponde al municipio sino también a las autoridades federales y estatales, por lo que solo se dio conocimiento a las dependencias correspondientes, esperando que estas tomen las acciones necesarias para detener las descargas y sancionar a los responsables (Flores, 2019).

La CEA anunció en el 2019 la inversión de 110 millones de pesos para la construcción de una planta tratadora de aguas residuales en El Arenal, seguido de otras cinco macroplantas para el municipio que utilicen tecnología homologada (Navarro, 2019). La planta de El Arenal beneficiaría a las colonias de Jurica, Juriquilla, Leyes de Reforma, Montenegro y alrededores, tratando 400 litros por segundo. En 2021 la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales aprobó el proyecto para la construcción de la planta tratadora El Arenal, siendo esta una de

las primeras macroplantas que se construirán, con la intención de utilizar tecnología homologada (Pérez, 2021).

A pesar de haber sido aprobado el proyecto, a la fecha no se han construido ninguna de estas plantas tratadoras teniendo el visto bueno y la aprobación del presupuesto, lo que ha llevado a que el problema continúe e incluso siga en aumento debido al crecimiento urbano de la cuenca.

Esta situación no es exclusiva de El Arenal, sino que se repite en otros cauces de la zona metropolitana de Querétaro. En el río Querétaro, por ejemplo, los gobiernos municipales de Querétaro, Corregidora y El Marqués anunciaron en 2009 un proyecto de saneamiento que concluiría en 2015 y que no se concretó, el municipio de El Marqués se comprometió a construir tres plantas tratadoras que, seis años después, aún no existían, pese a haber sido incluidas en el programa de gobierno con presupuesto asignado (Rodríguez, 2015). En ese mismo contexto, un recorrido periodístico constató vertidos de aguas negras al río desde fraccionamientos de reciente creación, y atribuyó el aumento de la contaminación al crecimiento inmobiliario desordenado del municipio (Rodríguez, 2015).

En 2018, la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro realizó un monitoreo de comunidades acuáticas en diversos puntos del Río El Arenal. Los resultados del monitoreo evidencian un deterioro ambiental significativo en el cuerpo de agua, provocado por el proceso de urbanización, que resultó en la pérdida de la mayoría de los procesos ecológicos. Actualmente, el río solo puede soportar vida bacteriana y algunas especies de mosquitos, las cuales pueden convertirse en vectores de enfermedades (Ramírez *et al.*, 2018).

Otro de los estudios realizados en la subcuenca en torno al deterioro de los ríos es un informe realizado por el Museo del Agua, el cual aporta información relevante sobre el estado ambiental de los cuerpos hídricos que la conforman. En

dicho trabajo se evaluó la condición ecológica de los ríos El Pueblito, El Arenal y Querétaro mediante la aplicación de un Índice de Calidad Visual Ambiental (ICAV) en el que tres de los sitios de observación se encuentran dentro de la subcuenca El Arenal, uno en la localidad de Juriquilla, otro en Jurica y el último en El Tintero. Este índice se llevó a cabo con el fin de analizar el gradiente de deterioro ambiental, donde los resultados del análisis son cuatro puntajes que van desde óptimo, subóptimo, marginal, hasta pobre. Los resultados del ICAV reflejaron condiciones marginales en Juriquilla, subóptimas en Jurica y marginales en El Tintero, lo que evidenció alteraciones en el cauce, pérdida de vegetación ribereña y procesos de sedimentación. Asimismo, llevaron a cabo análisis de DQO y NT los cuales mostraron niveles arriba de los 100 mg/L para DQO y arriba de 40 mg/L para NT dentro de la subcuenca El Arenal, indicando que hay contaminación asociada a descargas domésticas y actividades urbanas. Este estudio constituye un antecedente fundamental para comprender la dinámica de contaminación y degradación ecológica en la cuenca, además de resaltar la necesidad de mantener un monitoreo continuo en los ríos urbanos para prevenir aumentos en los niveles de contaminación y desarrollar estrategias de intervención (Museo del Agua, 2025).

Un estudio realizado por Martínez (2011) sobre las percepciones ambientales y las prácticas culturales que una población ubicada en la cuenca El Arenal tiene en torno a la contaminación del agua, analizó cómo la población percibe la contaminación del río y cómo se relacionan con el mismo, a través una serie de encuestas realizadas al mismo número de hombres que de mujeres ya que tiene un enfoque de género seleccionando a los encuestados acorde al tema de investigación, por ejemplo: realizar prácticas culturales que involucren al dren. Las respuestas que obtuvo indican que la mayoría de la gente entrevistada ve al río como un canal de aguas residuales y que esto siempre ha sido así y no como un río que debería ser únicamente destinado a aguas pluviales, preocupándose más por los temas de las inundaciones y la delincuencia de la zona. Esto puede afectar la forma en que las personas abordan la mitigación de la contaminación en el dren, ya

que, al considerarlo como un simple canal de aguas residuales, podrían llegar a la conclusión de que no se puede hacer nada para mejorarlo, pues en su percepción, esa es su función principal. Sin embargo, este mismo estudio denota una diferencia en cómo los hombres y mujeres de la zona ven los problemas ambientales, siendo las mujeres las más conscientes y preocupadas por estos temas. Conocer esta diferencia en la concientización de los habitantes de la subcuenca es importante, pues con ello se puede saber con quién llegar primero en las intervenciones.

Si bien ha habido investigaciones dentro de la subcuenca sobre la contaminación del dren, estas no se han llevado de manera en la que se conjunte la parte técnica de tener los datos de calidad de agua con la percepción de la población.

En este contexto, la subcuenca del Río El Arenal en Querétaro representa un caso particular de cómo el crecimiento urbano no planificado, la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales, la omisión de las autoridades ante las denuncias o su falta de capacidad para incidir en las mismas, han llevado a la degradación ambiental y a la pérdida de servicios ecosistémicos. Este estudio busca analizar el estado socioambiental en torno al Río El Arenal, evaluando cómo las dinámicas urbanas, económicas y sociales han impactado la calidad del agua y, en consecuencia, el bienestar de las comunidades que habitan en las riberas.

3. Área de estudio

La subcuenca El Arenal se localiza al norte del municipio de Querétaro. El cauce principal inicia en la localidad de Palo Alto y desemboca en el Río Querétaro, cerca de la comunidad de San Sebastián. En esta investigación se trabajó con una sección de la subcuenca que va desde el nacimiento de las aguas en Palo Alto hasta la zona industrial Benito Juárez, con el propósito de tener una visión completa del recorrido y origen del agua.

Las coordenadas extremas de la subcuenca son: Norte ($20^{\circ}54'18.34''\text{N}$, $100^{\circ}25'3.12''\text{O}$), Sur ($20^{\circ}38'29.46''\text{N}$, $100^{\circ}26'37.87''\text{O}$), Este ($20^{\circ}52'39.54''\text{N}$, $100^{\circ}19'45.46''\text{O}$) y Oeste ($20^{\circ}43'29.27''\text{N}$, $100^{\circ}33'8.83''\text{O}$). Cubre una superficie total de 426 km², de los cuales el área analizada en este estudio representa el 48%, equivalente a 204 km². El punto más alto se encuentra a 2744 msnm mientras que el más bajo está en los 1810 msnm.

El área de estudio abarca el tramo que comprende aguas abajo de la presa Santa Catarina hasta el parque industrial Benito Juárez. Esta delimitación se observa en la Figura 1. Dentro de esta zona se encuentran varias áreas urbanas, entre ellas Juriquilla, El Nabo, Santa Rosa Jáuregui, El Salitre, Montenegro y San Miguelito.

De acuerdo con el censo del INEGI (2020), en el área de estudio habitan 221,986 personas, mientras que en toda la subcuenca se registran 241,731 habitantes. Los usos de suelo y vegetación que predominan son el de agricultura de temporal ocupando un 42% del área total de la subcuenca, siguiendo el área urbana la cual ha experimentado un rápido crecimiento en los últimos años ya que, si comparamos los datos de la serie II de uso de suelo y vegetación de 1997 en Querétaro (INEGI, 1997), pasó de ocupar aproximadamente un 2% (8 km²) de área en la subcuenca a un 17% (72 km²) ocupando terrenos antes destinados principalmente a la agricultura de temporal. Las áreas naturales que aún se

conservan, aunque con un grado de perturbación significativa en algunas zonas, son la selva baja caducifolia con un 14%, el matorral crasicaule con un 11% y el bosque de encino con un 7% el cual se encuentra altamente fragmentado.

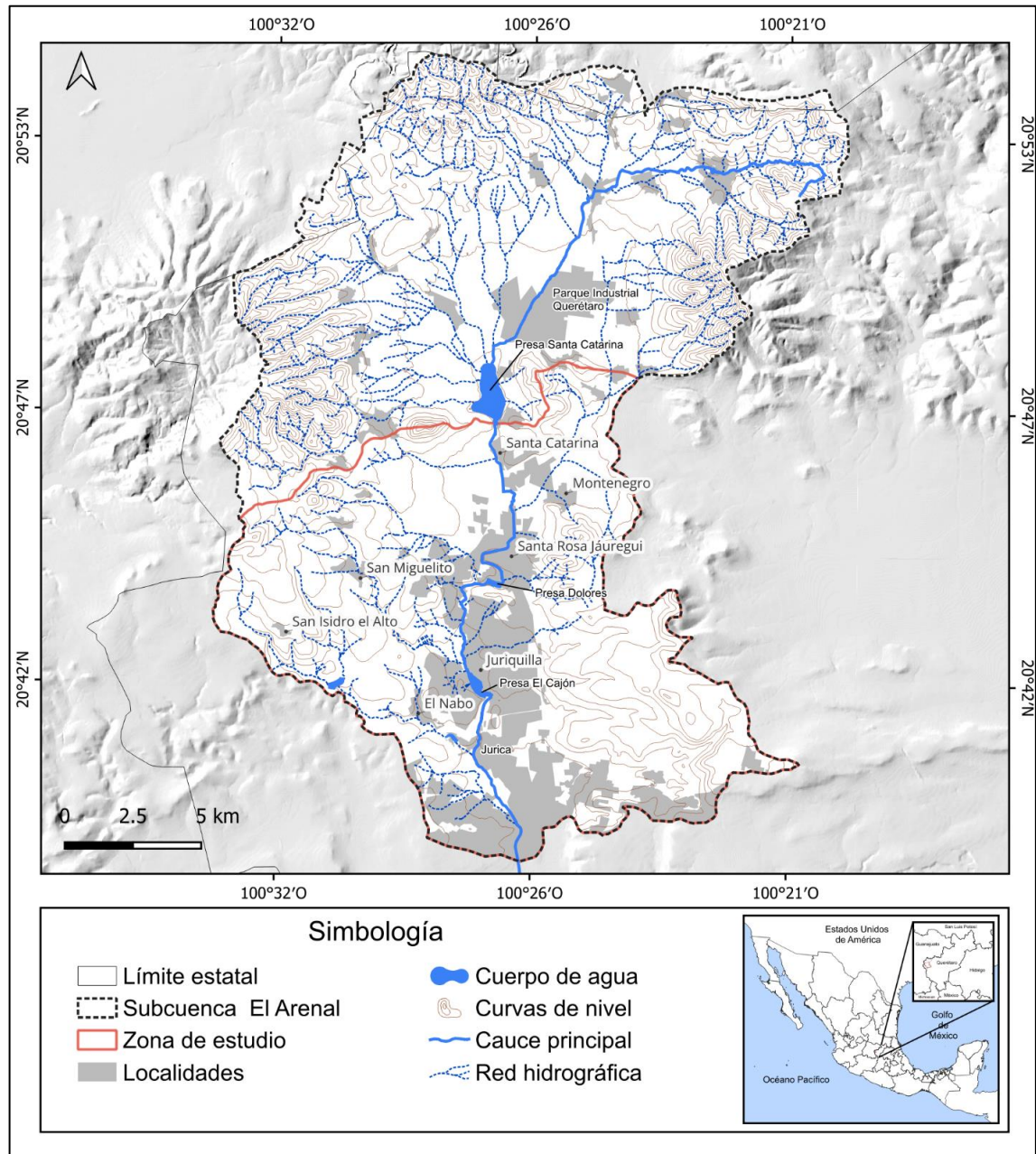


Figura 1. Mapa de la subcuenca El Arenal. Fuente: Elaboración propia con información de INEGI (2020, 2021) y FIRCO-UAQ-UAEM (2005).

4. Metodología

La metodología para esta investigación consta de dos etapas para lograr el objetivo general: a) Fuentes de contaminación y evaluación de la calidad del agua y b) Análisis social de la problemática.

4.1. Evaluación de la calidad del agua y fuentes de contaminación

4.1.1. Delimitación de la cuenca

Se delimitó la subcuenca El Arenal y se caracterizaron su relieve y red hidrográfica utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) QGIS (QGIS Development Team, 2024). Los insumos principales incluyeron:

- Delimitación de microcuencas (FIRCO-UAQ-UAEM 2005) para extraer los polígonos de la subcuenca.
- Marco Geoestadístico de INEGI (2024) para obtener los límites estatales de Querétaro y municipales.
- Red hidrográfica (SIATL-INEGI) para visualizar los flujos de agua.
- Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) de INEGI (2021) para el análisis de elevaciones y corrección de límites de la cuenca.

Con estos insumos se realizó el mapa usado en la descripción de la zona de estudio (Figura 1) En base a esto también se decidió dividir la subcuenca en dos, usando a la presa Santa Catarina como punto de descarga de la primera, y usando su salida como inicio de la segunda subcuenca la cual se eligió como área de estudio debido a la densidad poblacional, las problemáticas de las zonas y, a que es donde el río ha tenido intervención para convertirlo en un dren pluvial.

4.1.2. Selección de puntos de muestreo.

Para identificar los sitios de muestreo óptimos, se cargó una capa satelital de Google en el proyecto SIG (usando QuickMapServices) y se consideró la influencia de las actividades humanas. Se priorizaron las zonas aguas arriba y aguas abajo de asentamientos urbanos y presas para evaluar los cambios en la calidad del agua a lo largo del río (Torres *et al.*, 2013). Se tomó en consideración si había vías de acceso (carreteras o caminos), cercanía a comercios, áreas industriales y zonas habitadas, también se tomó en cuenta la seguridad de los lugares. Teniendo esto en cuenta se eligieron varios tramos del cauce para hacer recorridos en busca de fuentes de contaminación.

En marzo de 2024 se realizaron dos salidas de campo para:

1. Corroborar la información geográfica.
2. Identificar fuentes de contaminación evidentes (descargas urbanas y agrícolas).
3. Ubicar secciones que aún conservan características de un río natural (turbulencia, sinuosidad, vegetación riparia).

Finalmente, se seleccionaron nueve puntos de muestreo estratégicos (Figura 2 y 3), enfocándose en áreas con alta probabilidad de contaminación y en puntos clave para observar posibles mejoras en la calidad del agua.

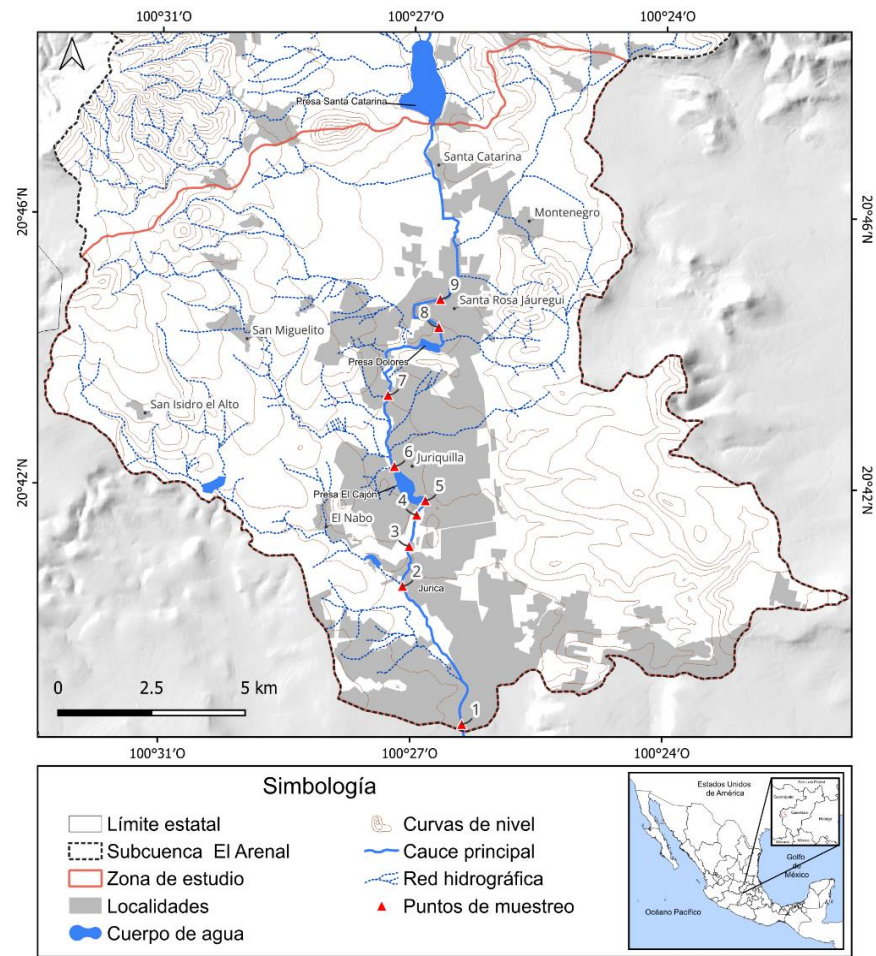


Figura 2. Mapa con los puntos de muestreo seleccionados y las fuentes de contaminación detectadas. Fuente: Elaboración propia

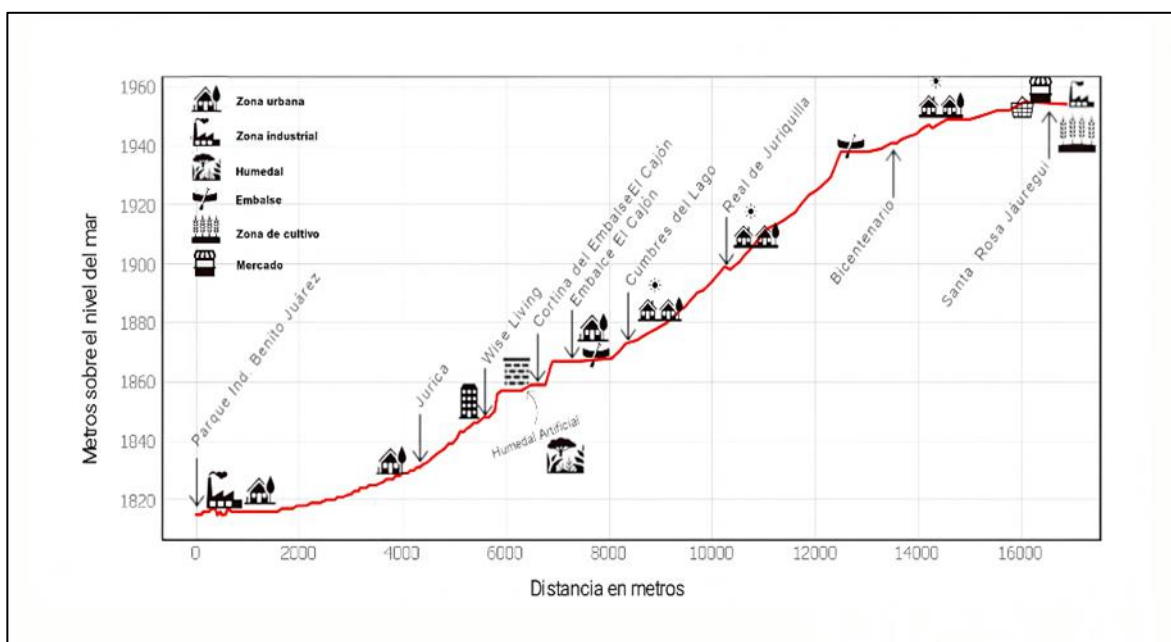


Figura 3. Perfil Altitudinal del Río El Arenal con información de los puntos de muestreo y principales características de las zonas como referencia. Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Selección de parámetros químicos y biológicos para analizar

Se eligieron tres parámetros a analizar siendo DQO, el NT y *E. coli* para coliformes fecales, que corresponden a parámetros que miden los contaminantes más comunes presentes en ríos urbanos y cuyo origen corresponde a principalmente a descargas domiciliarias y al uso de fertilizantes y son algunos de los parámetros que usa CONAGUA en la elaboración de los semáforos de calidad de agua superficiales (CONAGUA 2024, Mancilla-Villa *et al.*, 2022).

La DQO y *E. coli* son indicadores primarios de la contaminación por descargas sanitarias y aguas residuales, ya que la DQO mide la materia orgánica biodegradable y no biodegradable presente, y la *E. coli* confirma la presencia de contaminación fecal (American Public Health Association *et al.*, 1999). Por otro lado, el NT en el agua es el indicador más relevante para la contaminación por fertilizantes de origen agrícola, ya que representa la entrada de nutrientes nitrogenados que, al disolverse y escurrirse de los campos de cultivo, provocan la eutrofización en los

cuerpos de agua (exceso de nutrientes en el agua que permite la proliferación descontrolada de algas y plancton) (Carpenter et al., 1998).

Los resultados de los análisis se compararon con los límites establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-2021 (Tabla 1) como un marco de referencia de la contaminación del río.

Tabla 1. Valor instantáneo para los límites máximos permisibles de contaminantes presentes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, como está establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021

Límites máximos permisibles - Valor Instantáneo				
Parámetros	Ríos, arroyos, canales, drenes.	Embalses, lagos y lagunas.	Riego de áreas verdes	Infiltración y otros riegos
DQO	210 mg/L	140 mg/L	84 mg/L	210 mg/L
NT	35 mg/L	30 mg/L	NA	NA
<i>Escherichia coli</i>	600 NMP/100ml	600 NMP/100ml	600 NMP/100ml	600 NMP/100ml

Fuente: Elaboración con datos de SEMARNAT (2021)

4.1.4. Toma de muestras y análisis

Se llevaron a cabo dos salidas para la toma de muestras, en diferentes temporalidades, una en secas el 26 de abril de 2024, donde se tomaron muestras de siete puntos y otras post lluvias el 12 de noviembre del mismo año, donde se muestrearon nueve puntos, con el fin de ver si había cambios en los niveles de contaminación propiciados por el aumento de agua en el río, lo que debería propiciar una limpieza de contaminantes (Guzmán-Colis et al., 2011). En el segundo muestreo se agregaron dos puntos más para saber si el embalse que se encuentra

dentro del parque bicentenario tenía un efecto en la calidad del agua antes y después de este.

Las muestras se recolectaron a nivel superficial empleando recipientes de polipropileno, los cuales fueron rotulados previamente con la información del sitio de colecta. Posteriormente, se trasladaron el mismo día con una temperatura constante aproximada de 4 °C en una hielera hasta los laboratorios correspondientes, siendo las muestras para DQO y NT al Laboratorio de Calidad de Agua y Suelo de la Facultad de Ciencias Naturales UAQ y las de coliformes fecales a la Unidad de Análisis Clínicos de la Facultad de Química UAQ.

4.2. Análisis social de la problemática

Esta etapa utiliza un enfoque cualitativo para comprender la percepción de los habitantes sobre el río y la contaminación.

4.2.1. *Recorridos por las localidades*

Para poder elegir el método adecuado para obtener la percepción de las personas, se llevaron a cabo una serie de recorridos principalmente en el pueblo de Jurica y Santa Rosa Jáuregui, durante el mes de septiembre, donde se aplicó el método etnográfico (Montes de Oca Barrera, 2016) para obtener información sobre la cotidianidad de los habitantes, sus horarios, los lugares más concurridos, además de tener un primer acercamiento con las personas.

Una vez hecho esto se aplicaron dos entrevistas informales a dos personas de las dos localidades mayores de edad que llevan viviendo en la cuenca toda su vida, con el fin de obtener una historia oral del lugar y con ello formular un cuestionario, siendo la historia oral una técnica dentro del método etnográfico que se enfoca en recoger relatos personales y testimonios sobre experiencias, eventos o procesos históricos y sociales. Además, se aplicó el método de bola de nieve (Raifman et al., 2022) para obtener información sobre posibles actores clave y otros

informantes importantes, este método se siguió aplicando con todas las personas con las que se tuvo interacción.

4.2.2. Diseño y aplicación de entrevistas.

Con la información recopilada se decidió por el diseño y aplicación de una entrevista semiestructurada dirigida a habitantes de las riberas mayores de edad y que lleven viviendo en la zona más de 15 años. Las entrevistas estuvieron orientadas a recopilar información sobre cómo las personas perciben al río, los impactos que tiene la contaminación en su calidad de vida, problemáticas relacionadas, acciones que se están tomando o han llegado a tomar, los cambios percibidos a lo largo del tiempo, actividades culturales y de esparcimiento que se solían llevar a cabo o se siguen realizando, entre otros temas, cabe mencionar que si surgía una inquietud no relacionada a las preguntas pero sí tenía que ver con temas ambientales y de la subcuenca igual se tomaron en cuenta (Anexo 1). Antes de realizar la entrevista se les pidió la firma de un consentimiento informado para el uso ético de la información obtenida. Las entrevistas fueron grabadas con la aplicación de grabadora de voz de un celular Android y posteriormente fueron transcritas algunas conversaciones.

Debido al momento de hacer los recorridos se notó una resistencia de las personas a participar en las entrevistas, se decidió no hacer un cálculo de muestra para obtener el número de personas a entrevistar, sino que se optó por ir por una saturación teórica, método que se basa en la recopilación de datos hasta que no surgen nuevas ideas o temas relevantes (Guest et al., 2006). Las entrevistas se aplicaron en Jurica, Juriquilla y Santa Rosa Jáuregui, entrevistando únicamente a personas que cumplieran los siguientes criterios: Llevar viviendo más de 15 años en las cercanías a la ribera, que sean mayores de 18 años y que realicen actividades que involucren al dren (trabajar cerca, hacer deporte en áreas cercanas, entre otras).

En el caso de Juriquilla debido a la baja participación de la población cercana a la ribera, se tuvo que entrevistar a personas que se encontraron durante los recorridos y los cuales viven cerca de la zona. En total se aplicaron 39 entrevistas, 15 en Jurica, 9 en Juriquilla y 15 en Santa Rosa Jáuregui, las cuales se detuvieron en cuanto ya no se obtuvieran información nueva.

5. Resultados y discusión

Durante los recorridos se localizaron 18 sitios con evidencias de descargas que corresponden a fuentes de contaminación cercanas al río El Arenal (Figura 4), 13 de ellas corresponden a descargas directas al río, todas exceptuando una eran aguas residuales domiciliarias sin tratamiento, la que no, era una descarga de un taller mecánico. Las cinco evidencias restantes solo se podían asumir que estaban presentes observando de lejos las franjas de árboles verdes en una ladera mientras que los de alrededor se mantenían secos por la temporada (Figura 5), teniendo zonas residenciales en la parte alta.

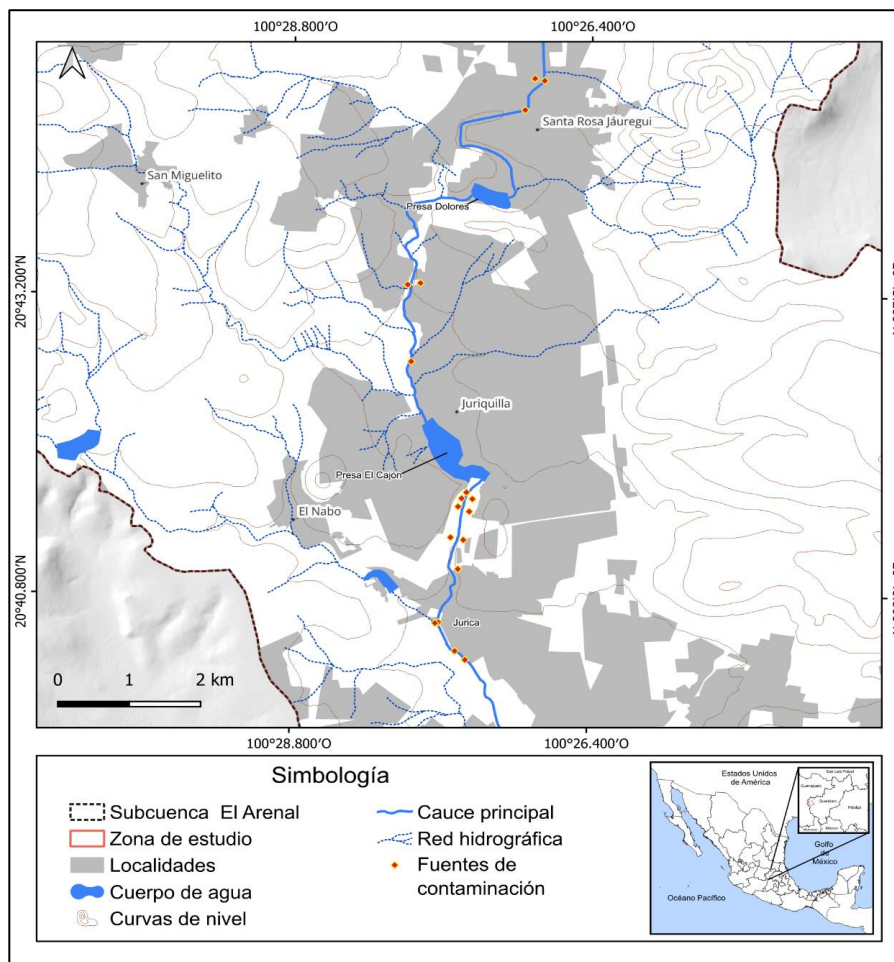


Figura 4. Ubicación de las fuentes de contaminación. Fuente: Elaboración propia.



Figura 5. Foto de una posible fuente de contaminación, junto a esta se veían otras 4 líneas verdes de árboles, en la parte de arriba de estas se encuentra la privada Balcones de Juriquilla. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de los análisis de calidad del agua (Tabla 2) muestran un incumplimiento generalizado de la normativa vigente. En específico, en la mayoría de los sitios de muestreo, las concentraciones de los contaminantes analizados superaron los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-2021 (Tabla 1) para las descargas de aguas residuales en aguas nacionales.

Este hallazgo es crucial, ya que el incumplimiento de estos parámetros no solo es una evidencia de que la norma de descarga no está cumpliendo, sino que también restringe el uso posterior de este recurso hídrico, ya que el agua de la subcuenca no puede ser aprovechada para riego y tampoco es apta para la infiltración al subsuelo de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-2021.

Tabla 2. Resultados de los análisis de agua.

Mes	Parametro	Sitio								
		Parque Ind. Benito Juárez	Jurica	Museo Living	Cortina Bordo El Cajon	Embalse El Cajon	Cumbres del Lago	Bicentenario	real de Juriquilla	Mercado Santa Rosa
Abril	DQO mg/L	83.00	181.00	99.00	426.00	260.00	431.00	SD	SD	602.00
	Nt mg/L	95.70	87.64	109.00	126.30	33.20	128.20	SD	SD	150.40
	<i>E. coli</i> NMP/100ml	43,000	1,200,000	1,200,000	24000	360	2,900,000	SD	SD	150,000
Noviembre	DQO mg/L	163	117	212	275	142	237	184	205	213
	Nt mg/L	52.21	47.71	48.94	8.16	93.86	70.06	74.72	74.82	77.07
	<i>E. coli</i> NMP/100ml	1,100,000	28,000	290	460,000	28,000	150,000	150,000	240,000	460,000

Fuente: Elaboración propia

Los elevados valores de DQO, *E. coli* y NT registrados en la mayoría de los sitios monitoreados reflejan una alta carga de materia orgánica y nutrientes en el cauce. Estas concentraciones excesivas, en especial las de patógenos, evidencian que las principales fuentes de contaminación son las descargas de aguas residuales domiciliarias sin tratamiento o con tratamiento deficiente, junto con aportes difusos que se originan en los campos agrícolas y el campo de golf de Juriquilla, por el uso de fertilizantes nitrogenados. Los hallazgos coinciden con los reportes históricos sobre la zona, que vinculan esta problemática con la expansión urbana desordenada y la falta de infraestructura adecuada para el drenaje y tratamiento de aguas (Osorio, 2012). Esta situación es consistente con lo observado en otras cuencas urbanas de América Latina, donde la contaminación de los ríos responde a patrones similares de urbanización y manejo inadecuado de residuos líquidos (Torres *et al.*, 2013; Barra *et al.*, 2022).

Algunas de las descargas de aguas sin tratar fueron identificadas en los trayectos que se hicieron, siendo las ubicadas en la cortina del embalse El Cajón las que más aguas negras aportan al cauce afectando directamente a la población del pueblo Jurica. El nivel de esta contaminación representa un riesgo considerable para la salud pública, particularmente para las poblaciones que viven cerca del dren y para los animales que beben de sus aguas.

La comparación de los resultados obtenidos entre los muestreos de abril y noviembre evidencia una variabilidad temporal en ciertos parámetros. Se observó una tendencia general hacia valores más críticos de contaminación durante el mes de abril, lo cual está asociado a que hay menor dilución con aguas limpias provenientes de la lluvia, a diferencia de noviembre, donde el agua aportada por las lluvias diluye los contaminantes. No obstante, esto también provoca que los contaminantes se desplacen más rápidamente y se acumulen en los bordos, esto se ve en los resultados del embalse El Cajón donde el nivel de NT aumenta casi al triple, mismo en el cual se pueden ver indicios de eutrofización, como la tonalidad verdosa del agua, asociada a la proliferación de algas y cianobacterias. La eutrofización provoca un descenso en el oxígeno disuelto y los contaminantes tóxicos provenientes de las aguas residuales, junto con las toxinas liberadas por las algas, terminan con la mayoría de organismos en un cuerpo de agua eutrofizado.

Aquí también se ve un efecto que tienen los cuerpos de agua como los lagos y bordos al retener por más tiempo el agua, dando tiempo a los contaminantes para depositarse y a los microorganismos de consumirlos, reduciendo la carga de nutrientes corriente abajo, sin embargo, como ha pasado anteriormente con el Lago Chapala (De Anda y Maniak, 2007), este efecto se ve alterado en El Arenal, debido a las descargas de aguas negras existentes posterior al embalse El Cajón, además de que aunque sí se ve una disminución en la carga de contaminantes, la cantidad que le está llegando es demasiada para que se vea un efecto positivo más allá de bajarla unos niveles.

En las salidas de campo se recorrió un tramo de río entre el punto 1 y 2 (Figura 2), donde el río presenta condiciones propias de un río (turbulencia, sinuosidad, vegetación riparia y zonas de caudal lento), y la zona urbana deja de estar presente para que sean cultivos los que tomen su lugar. Es en estas condiciones que el agua del río empieza a ser más transparente, los olores disminuyen y se pudieron ver más insectos en el área. Los análisis de agua en el

punto 1 indican que esta zona, con sus condiciones, está ayudando a disminuir materia orgánica, viéndose reflejada en los resultados de los análisis.

Al igual que en el trabajo de Torres *et al.* (2013) realizado en el Río Seco, en el río El Arenal se observa una pérdida de la capacidad de resiliencia e indicios de un proceso de eutrofización, donde la vegetación ribereña y los tramos naturales ya no logran compensar las cargas contaminantes, sin embargo, como se menciona en el párrafo anterior aún hay pequeños tramos de río en cierta medida de resilientes, denotando la importancia de conservar y rehabilitar el río.

Estos resultados concuerdan con lo visto en otras cuencas, las aguas residuales domiciliarias, la actividad agrícola, la pecuaria y los residuos sólidos vertidos en los ríos, son los principales factores que afectan las aguas de los ríos urbanos, lo que propicia la degradación del ecosistema acuático. Ejemplos de esto son el Río Saphy en Cusco, Perú donde los resultados de análisis de agua evidencian una fuerte contaminación del río por aguas domiciliarias y de fuentes agrícolas, también se nota una mejora en los resultados cuando las muestras son tomadas en partes del río donde hay cascadas, las cuales oxigenan el agua, lo que permite la autodepuración del cauce en cierto grado, denotando la importancia de conservar las características naturales del ecosistema (Gil-Mora *et al.*, 2022).

Lo mismo sucede en el Río Utcubamba, región Amazonas, en Perú (Gamarra *et al.*, 2018) y en la cuenca del Jarama en España donde la calidad del agua en los cauces es buena en las partes altas de la cuenca, mientras que la parte media y baja donde las actividades agrícolas y urbanas están más presentes, esta se deteriora rápidamente, debido al mal o nulo tratamiento de las aguas residuales y a las malas prácticas de riego y uso de fertilizantes en las zonas agrícolas (Arauzo *et al.*, 2008).

Aunque no se realizaron mediciones de oxígeno disuelto, los valores elevados de DQO registrados sugieren una posible disminución de este parámetro

en el agua. Esto se debe a que la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos consume oxígeno disuelto, lo que, en determinadas condiciones, puede reducir su disponibilidad para los organismos acuáticos (Aguirre y Castro, 2014), esto se vio en los recorridos para identificar fuentes de contaminación como en los días en los que se muestreó, ya que no se observaron insectos en el agua, más que larvas de zancudos, concordando con los trabajos de monitoreo de comunidades acuáticas en la cuenca, donde mencionan solo haber encontrado algunas especies de mosquitos (Ramírez *et al.*, 2018).

De acuerdo con el semáforo de la CONAGUA en el que se califica la calidad mediante el color, rojo, amarillo y verde, siendo el verde la mejor calidad y el rojo la peor. Todos los sitios entrarían en semáforo rojo, ya que los valores de DQO obtenidos superan los 40 mg/L. En la escala de clasificación de la CONAGUA, valores arriba de los 40 mg/L, pero menores a los 200 mg/L se consideran como contaminados, y mayores a 200 mg/L como fuertemente contaminados y tanto los contaminados como altamente contaminados se consideran en semáforo rojo (CONAGUA, 2024a).

El análisis de estos resultados muestra la grave situación del Río El Arenal a lo largo de su cauce, evidencia la falta de tratamiento de aguas residuales, la carencia de monitoreo sobre fugas de drenaje y descargas ilegales, donde incluso algunas descargas encontradas en esta investigación poseen los logotipos de la Comisión Estatal del Agua (CEA).

La persistente y grave contaminación del Río El Arenal, evidenciada por los resultados de los análisis del agua, que superan consistentemente los límites de la NOM-001-SEMARNAT-2021, sugiere un incumplimiento de la norma mexicana en las descargas de aguas residuales que dan al río. A pesar de que la Constitución Política reconoce como derecho el saneamiento de aguas adecuado (Artículo 4) y asigna a los municipios la responsabilidad de tratar las aguas residuales (Artículo

115), el vertimiento de drenajes sin tratamiento demuestra una clara omisión de funciones por parte de las autoridades locales.

Adicionalmente, el deterioro de la cuenca implica que la Ley de Aguas Nacionales está siendo ignorada en el principio de la gestión por cuencas, ya que no se cumple con la protección ni se ha visto un interés por mejorar y conservar los cuerpos de agua de la cuenca, indicando una omisión por parte de la CONAGUA a pesar de que en los resultados de los monitoreos en la zona tengan resultados de contaminación altos.

La presencia de fuentes de contaminación puntual, como las descargas directas, indica que ni los concesionarios ni los desarrolladores urbanos están acatando su deber legal de garantizar la calidad de sus descargas, lo cual compromete el derecho humano al agua y al ambiente sano para las comunidades aledañas, a pesar de que la LGEEPA provee los mecanismos de sanción y hasta de denuncia popular para remediar la situación.

En la parte social, en total se aplicaron 39 entrevistas, 15 en el pueblo de Jurica, 9 en Juriquilla y 15 en Santa Rosa Jáuregui (Tabla 3). Para el caso de Juriquilla, se dificultó el realizar entrevistas ya que se encontraron pocas personas en los recorridos realizados, a las cuales al momento de abordarlos para las entrevistas, algunos contestaban las preguntas filtro, pero preferían no ser entrevistados en su totalidad y otros no residían permanentemente en la localidad, esto dificultó aumentar el número de entrevistados, a lo que se optó por abordar a personas que, si bien no viven a las orillas del río, si llevan trabajando más de 15 años en la zona, además de vivir en el pueblo de Juriquilla.

Con el fin de verificar que se llegó a una saturación teórica, se realizaron entrevistas rápidas con los habitantes de los tres sitios, en las que se trató de ser más puntual para no alargar la conversación a menos que surgiera algo diferente, estas conversaciones no se agregan a los resultados porque fueron solo para

confirmar los resultados y no se pidió firma para el consentimiento informado. Coincidiendo con estudios donde los datos suelen empezar a repetirse en un rango que oscila entre las 10 y 12 entrevistas (Guest et al., 2006).

Las edades de los participantes van desde los 18 hasta los 76 años, con un promedio de 49 años o más. La mayoría de los entrevistados (74%) tienen 40 años o más. De la totalidad de los entrevistados 22 fueron hombres y 17 mujeres. En el tema educativo, la mayoría de los entrevistados, 28 personas que representan el 72%, solo cuenta con educación básica, mientras que, del resto, 7 personas (18%) cuentan con estudios de preparatoria y solo 4 (10%) tiene estudios superiores.

Tabla 3. Perfil de los entrevistados por sitio.

Sitio	Jurica				Juriquilla				Santa Rosa Jáuregui			
Edades	26-39-39-42-46-50-51-51-52-56-61-62-64-73-76				18-28-40-49-53-54-60-65-67				18-26-32-34-38-40-42-43-51-56-58-60-62-65-68			
Género	Hombre		Mujer		Hombre		Mujer		Hombre		Mujer	
	10		5		7		2		5		10	
Escolaridad	Primaria	Sec	Prepa	Superior	Primaria	Sec	Prepa	Superior	Primaria	Sec	Prepa	Superior
	3	8	2	2	3	3	2	1	5	6	3	1
Tiempo de residencia	>=15<30		>=30		>=15<30		>=30		>=15<30		>=30	
	4		11		4		5		3		12	
Sec=Secundaria. Prepa= Preparatoria. Superior= educación superior.												

Fuente: Elaboración propia.

Cuando se les preguntó a las personas qué tanto les preocupaba la contaminación del río, la gran mayoría (97%) manifestó estar preocupadas, dando razones como los malos olores, los zancudos y moscas, enfermedades estomacales y el mal aspecto del agua. Sumado a esto, todos perciben la calidad del agua como muy mala a excepción de una persona y la mayoría (34 personas) perciben que la calidad ha ido empeorando con el tiempo mientras que los 5 restantes no han notado cambios.

En la pregunta relacionada con la percepción de las fuentes de contaminación del río y que los tipos de contaminantes que han notado en el agua

(Figura 6), todos mencionaron que lo principal son las aguas residuales domiciliarias, seguido de la basura que es aventada por las personas de la comunidad o que es arrastrada de las partes altas, siendo lo más común botellas de plástico y bolsas, pero también de vez en cuando se llegan a encontrar muebles, escombros y llantas. Lo menos común que se mencionó fue la presencia de aceites y grasas, aunque en Santa Rosa Jáuregui el río cercano al mercado se logra ver que contiene grasa y los habitantes que sí la mencionaron dicen que es de las carnicerías de las zonas las cuales arrojan sus aguas sucias directo al cauce. También mencionan la presencia de animales muertos como perros y gatos, solo en Santa Rosa indicaron que el agua está contaminada con agua de las fábricas, aunque no mencionaron algún indicador de esto, como olores o colores que se asocien a alguna descarga de las fábricas, esta percepción puede estar inducida debido a que viven más cerca del parque industrial de Querétaro.

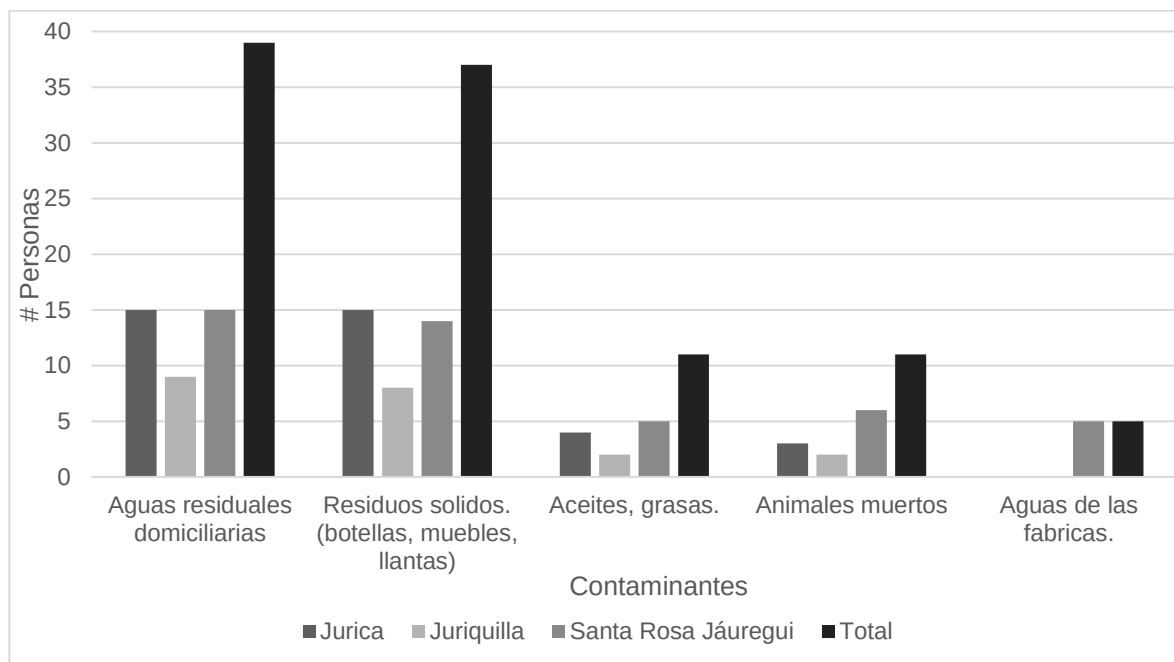


Figura 6. Contaminantes del río que perciben los entrevistados en cada localidad. Fuente: Elaboración propia.

Se les preguntó a quién consideraban como responsable del estado actual del río, y aunque más de la mitad dando el 61% mencionaron que el gobierno es el

principal responsable por no intervenir como debería un gran porcentaje de los que lo ponen como el principal responsable, también reconocen la responsabilidad de los habitantes y de las desarrolladoras inmobiliarias. Un 31% cree que la responsabilidad es de todos refiriéndose a los ciudadanos, gobierno y empresas. El resto les atribuye mayor responsabilidad a las inmobiliarias y solo una persona culpa a las personas que viven río arriba.

Una de las preguntas orientadas a saber un poco de la historia de la relación que las personas tienen con el río, arrojó diferente información para las tres localidades sobre las actividades que antes se llegaban a hacer que involucran al río y los lagos por donde pasa (Figura 7).

En Jurica por parte de las personas que llevan viviendo más de 35 años en el lugar fue recurrente escuchar que en diferentes partes del río podían meterse a nadar, realizaban actividades en familia a las orillas del río o de la presa el cajón, usaban el agua del río para lavar la ropa, pescaban, e incluso los profesores realizaban excursiones con los niños.

Existían múltiples manantiales de los cuales acarreaban agua para consumo y uso en el hogar muchos de estos fueron entubados para llevar el agua directamente a las casas. Hoy en día ninguna de las actividades que mencionaron es realizada, siendo la pesca la última de las actividades que se dejó de practicar hace aproximadamente 8 años en el embalse el cajón. Solo una pareja mayor mencionó que realiza actividad física por las mañanas caminando a las orillas del río, pero lo hacen en una zona donde ya no hay casas sólo cultivos, mencionando que ahí los olores son menos notorios y que muchas veces el agua se ve más limpia.

Para el caso de Juriquilla, se obtuvieron los mismos testimonios por parte de los entrevistados que llevan más de 30 años en la zona, mientras que los que llevan menos, mencionan que solo les tocó escuchar historias por parte de sus familiares

o amigos de la zona, entre ellos un joven de 18 años menciona que de niño sí se llegó a meter a jugar dentro del agua no importando el estado del agua.

En Santa Rosa Jáuregui, solo una persona mencionó la pesca, tres mencionaron que solían jugar en el arroyo sin miedo a enfermarse o sin los molestos olores, el resto no mencionó alguna actividad que realizara en el pasado, siendo solo un lugar por el que tenían que pasar, en la actualidad suelen evitarlo debido a la contaminación y a la seguridad, ya que mencionan que suelen asaltar en la zona y que personas que consideran peligrosas por su comportamiento, suelen quedarse debajo de los puentes que cruzan el río. Tres de los entrevistados viven a las orillas del cauce el cual está completamente convertido en un dren, separándolos solo una carretera, todos ellos mencionaron que se sienten tristes por la situación ya que se genera demasiado mosquito y el olor es insoportable la mayor parte del tiempo, esto hace que les da pena de invitar gente a su casa o los desanima que no puedan pasar un rato sentados fuera de su casa sin tener que soportar los olores y los zancudos.

Se nota una clara diferencia en las memorias de las personas en cuanto a las actividades que involucran al río a lo largo de la subcuenca, siendo el pueblo de Jurica ubicado en la parte baja de la cuenca en el que más actividades se llegaron a realizar mientras que en la parte media de la cuenca donde se ubica Juriquilla y Santa Rosa Jáuregui son pocas las personas que mencionaron involucrarse con el río de alguna manera mencionando que siempre lo han recordado contaminado.

Esto tiene cierto sentido ya que Jurica al estar en la parte baja, posee más agua de la que se va juntando de todos los afluentes de la parte alta y media, de ahí también recibe el nombre de Jurica el cual significa lugar de salud, dado por la abundancia de agua. Mientras que en Santa Rosa Jáuregui el flujo natural del río ha estado interrumpido por la presa Santa Catarina la cual tiene más de 100 años y los arroyos que tributan el río principal después de la presa lo hacen más abajo.

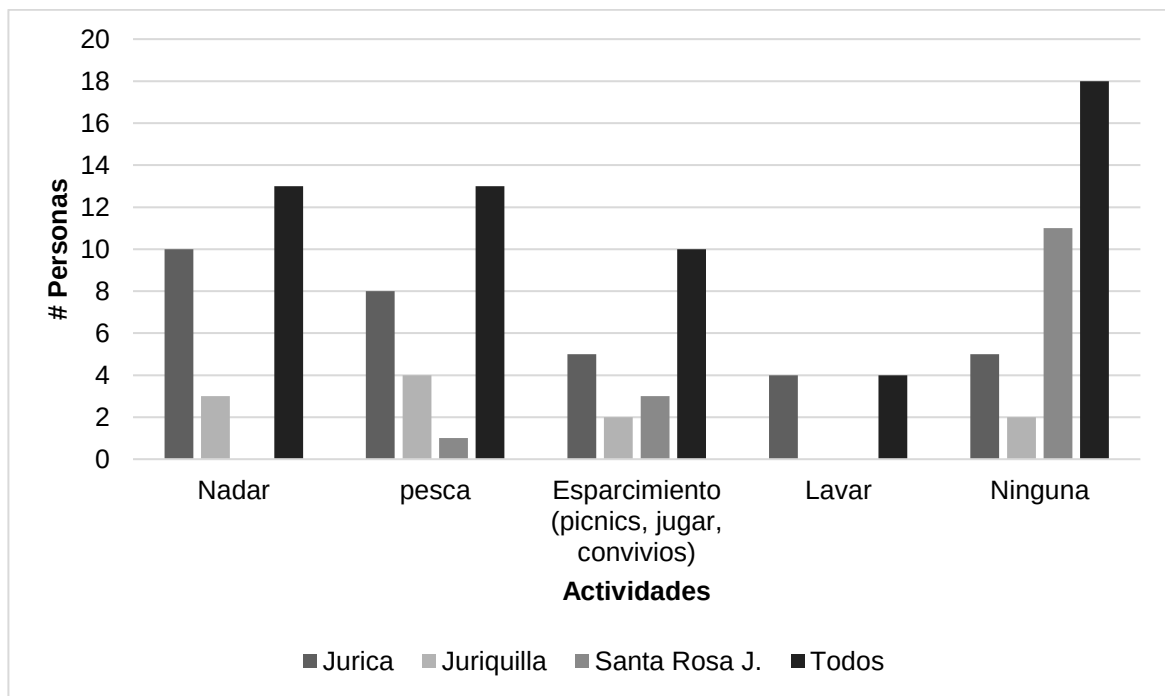


Figura 7. Actividades que las personas mencionaron solían realizar en el río El Arenal, por localidad. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al interés por participar en actividades orientadas a mejorar el estado del río o a recibir información ambiental mediante talleres, los entrevistados se mostraron dispuestos a colaborar siempre que se les convoque. Doce personas mencionaron haber participado previamente en acciones de limpieza y reforestación de las orillas, ya sea como organizadores o como voluntarios, cabe mencionar que todos ellos están en el grupo de las personas con más edad viviendo en la zona.

La situación observada en la subcuenca El Arenal, donde la mayoría de los habitantes expresa preocupación por la contaminación del río, pero son pocos los que participan de forma activa en acciones para su recuperación, coincide con lo que se ha documentado en otras cuencas urbanas del país. En el caso del río Magdalena, Perló y Saenz (2017) encontraron resultados muy similares, como el que los entrevistados reconocen verse afectados por la contaminación, pero menos de la mitad asumen algún grado de responsabilidad y pocos mencionan haber participado en actividades relacionadas con la mejora del cauce siendo los mayores los más involucrados en estas actividades, también es consistente el que se vea al

gobierno como el principal responsable del estado del río. Este patrón evidencia que la preocupación ambiental no necesariamente se traduce en acciones concretas por parte de los afectados.

Es necesaria la intervención de autoridades como la CONAGUA y la CEA para sancionar a los responsables y regularizar la red de drenajes, con el fin de disminuir la problemática. Además, se requieren acciones de rehabilitación ecológica que permitan al río recuperar parte de sus características naturales y su capacidad de autodepuración, como se observa entre los sitios 1 y 2, donde el cauce conserva aún cierta funcionalidad ambiental.

El análisis social llevado a cabo en Jurica, Juriquilla y Santa Rosa Jáuregui ofrece una mirada amplia sobre cómo las comunidades viven y comprenden la contaminación del Río El Arenal. La preocupación de las personas con respecto al río está asociada a impactos muy concretos: presencia de malos olores, proliferación de vectores como zancudos y moscas, identificación de riesgo sanitario (especialmente por enfermedades gastrointestinales), y una fuerte molestia estética. La mayoría señala que la calidad del agua es muy mala y que ha ido empeorando, lo que refuerza la idea de que existe una percepción clara de deterioro progresivo.

En las conversaciones, se repitió la opción de que fuera entubado para que se dejaran de desprender los olores y dejara de ser un vector de enfermedades, sin tomar en cuenta que esto solo ocultaría el problema trasladándolo a personas que viven río abajo. Además, el entubamiento podría reducir la infiltración de agua al suelo y afectar la vegetación cercana al cauce. Esto también podría repercutir en algunos de los servicios ecosistémicos que aún brinda el río, como la regulación del clima local, ya que la pérdida de vegetación y sombra puede contribuir al aumento de la temperatura del entorno. Un ejemplo muy cercano de este tipo de acciones se encuentra en la Ciudad de México, donde durante el siglo XX se entubaron diversos ríos urbanos, como el Consulado, La Piedad y Churubusco. Estas obras buscaban

mejorar las condiciones sanitarias al expulsar las aguas contaminadas, reducir los problemas de inundación y facilitar el crecimiento de la ciudad aprovechando los antiguos canales como avenidas. Sin embargo, el entubamiento no solucionó del todo los problemas, ya que no eliminó las prácticas de contaminación y las inundaciones siguieron ocurriendo. Además, provocó la pérdida de funciones ecosistémicas y del valor paisajístico de los ríos (González Reynoso et al., 2010).

Las comunidades identifican con claridad las principales fuentes del problema, coincidiendo en que las aguas residuales domésticas constituyen el foco principal de contaminación, lo cual apunta a una deficiencia en el sistema de saneamiento. Además, la acumulación de residuos sólidos (plásticos, muebles, escombros) es vista como otro factor relevante, del que no es responsable el gobierno, sino las propias personas, mencionando la falta de valores y de educación ambiental.

También reconocen los efectos negativos en la salud que trae consigo el estado del río, mencionando que son frecuentes las enfermedades estomacales, la aparición de alergias, la aparición de ronchas en la piel en los niños que juegan cerca del dren, así como un aumento en la presencia de mosquitos, lo que mencionan ha derivado en brotes de dengue.

En Santa Rosa Jáuregui, el problema de la basura es un tema que salió muy seguido en las entrevistas, atribuyendo este problema a que la zona es de comercio, lo que genera demasiada basura, la cual muchos locatarios no llegan a recoger por completo o, muchas veces, los camiones de basura no llegan a pasar a tiempo, haciendo que los perros rompan las bolsas y esparzan la basura. Este problema se pudo ver a simple vista durante los recorridos, llegando a ver incluso borregos hurgando entre la basura, algunos masticando bolsas plásticas, lo que supone un riesgo para su salud (Figura 8).



Figura 8. Borregos hurgando en la basura, fotografía tomada en la comunidad de Santa Rosa Jáuregui. Fuente: Elaboración propia.

La mayoría de la población (61%) señala al gobierno como principal responsable de la contaminación del río, sobre todo por la falta de acciones ante las descargas ilegales y las obras de drenaje público. Sin embargo, también se reconoce que esta no es una cuestión de un solo actor. Un 31% considera que la responsabilidad es compartida entre ciudadanía, autoridades y sector privado. Esta perspectiva revela una comprensión más amplia y estructural del problema, en la que también se destaca el rol de las empresas inmobiliarias, particularmente por su vinculación con el crecimiento urbano acelerado que se da de manera irregular generando una presión sobre la infraestructura ya existente (particularmente sobre una red de drenaje diseñada para una población menor).

La condición socioambiental actual de la subcuenca El Arenal muestra un deterioro evidente, reflejado tanto en el estado físico del río como en la relación que mantienen las comunidades con él. Los procesos de urbanización acelerada y sin planeación, la falta de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales y la limitada atención de las autoridades responsables han contribuido a que este cuerpo

de agua funcione más como un drenaje a cielo abierto que como un ecosistema acuático.

Pese a la poca organización social y las escasas participaciones en actividades para mejorar la situación del río, los resultados también revelan una oportunidad para la acción en pro del río ya que muchas personas expresan su interés en participar en actividades de restauración como limpiezas comunitarias, reforestación o talleres informativos. Este nivel de disposición representa un área de oportunidad para integrar a la comunidad si se llevan a cabo planes de rehabilitación, lo que no solo ayudaría a facilitar los trabajos con el apoyo de la gente local, sino que también podría asegurar que las obras se mantengan y sean cuidadas por la población, garantizando el éxito de las acciones.

Uno de los aspectos más relevantes vistos en las entrevistas es el cambio en la forma en que las personas se relacionan con el río. Antes, este era un espacio de encuentro comunitario, donde se podía pescar, nadar o simplemente convivir. Hoy en día, esas actividades han desaparecido casi por completo y, en su lugar, el río se ha convertido en un elemento que las personas evitan.

“El agua se venía directo todo un río bonito, río bonito, había sauces, había para recreación allá abajo, servía y se venía todo, mira, uno en el pueblo salías, podías hasta lavar los trastes, porque no, no estaba contaminado con nada, se bañaba uno, lavaba, era pura agua limpia.” (Habitante originaria de Jurica de 61 años de edad)

El cambio en la relación que los habitantes de la subcuenca El Arenal han mantenido con el río a lo largo de las últimas décadas evidencia la transición desde un uso comunitario y recreativo hacia una visión utilitaria y marginal del cuerpo de agua. Este fenómeno no se reduce únicamente a las descargas de aguas residuales sin tratamiento, sino que refleja una relación desequilibrada entre la sociedad y la naturaleza.

Esto se manifiesta en las prácticas cotidianas de la población: el inadecuado manejo de los residuos, el uso del cauce como vertedero, la percepción del río como un simple dren para aguas negras y la escasa acción ambiental tanto de las generaciones mayores, que alguna vez convivieron con un entorno más sano, como de las más jóvenes, que solo han conocido un cauce degradado. Aunque existe preocupación por los efectos nocivos, las soluciones que se plantean tienden a enmascarar el problema. Esta desvinculación ha contribuido a que, en la percepción de las personas, el estado contaminado del río sea visto como parte del paisaje urbano más que como un problema ambiental relevante, esto visto igualmente en las investigaciones de Martínez (2011), López-Mares *et al* (2019) y Perló y Saenz (2017) donde la población ya no percibe al río como un cauce natural sino como un basurero, y adoptan prácticas acordes a esta percepción empeorando la situación.

“No... no me deja de preocupar, pero tengo que aprender a vivir con ello. Porque al final de cuentas sé que anteriormente pues toda el agua se consumía, había tierra, había manantiales. Hoy en día está... está por debajo de la tierra los drenajes, las alcantarillas. Y, ¿a dónde tiene que dar? A algún lugar.

Solamente que, ya que se creció, se expandió la población, y pues esta es agua de drenaje, sí. Pero ¿dónde queremos meterla? ¿Dónde la escondemos? Es un... es una salida normal y natural.” (Habitante de origenario de Jurica de 51 años de edad).

Esta pérdida de conexión emocional y cultural con el río representa un problema importante, ya que limita el sentido de corresponsabilidad para su cuidado. Sin embargo, también abre la posibilidad de usar esta memoria colectiva como punto de partida para las acciones de restauración, recuperando no solo el ecosistema, sino también los lazos sociales que alguna vez giraron en torno a él.

“Me tocó vivir cuando todavía aquí había ranas, sapos, sardina, almeja de la chocolata, de la grande, carpa egipcia...Pescaba y nadaba ahí entre el río, cuando estaba bien limpiecito, en la presa también... Y luego íbamos a pescar también a la presa, pero ahorita ya no, está todo contaminado... A un lado hay un campo de charrería y ahí había un campo de fútbol. Ahí yo entrenaba... en ese tiempo estaba limpio. Es más, ahí nos bañábamos, ahí mismo. Ahí había charcos grandes, hondos.

¡Nombre, una chulada!... Venía mucha gente, mucha gente a convivir de fuera. Como hay muchos árboles en la orilla del río, había, y este, pastales. Y iba la gente a convivir, a asar elotes, a llegar con sus familias y ahí estaba." (Habitante originario de Jurica de 62 años de edad).

Desde el enfoque de cuenca, lo que ocurre en El Arenal no es un caso aislado, sino un ejemplo de cómo la falta de coordinación entre actores, la urbanización descontrolada y la poca aplicación de las normas ambientales llevan al colapso de los ecosistemas. A pesar de que existen denuncias, proyectos aprobados y recursos asignados para plantas de tratamiento, las acciones concretas han sido mínimas. Esto genera un sentimiento de abandono entre la población, lo que puede llevar al desinterés y a la resignación, dificultando aún más los procesos de recuperación.

Este sentimiento de abandono se reflejó también en la negativa de algunas personas a participar en esta investigación, con el argumento de haber sido entrevistadas en múltiples ocasiones por parte de trabajadores del gobierno y otras instituciones sin que se atendieran sus problemáticas.

Aunque el panorama es complejo debido a la falta de organización comunitaria para atender las problemáticas ambientales en la subcuenca, la información obtenida en esta investigación permite identificar oportunidades claras de intervención. Existen tramos del río que aún conservan cierto grado de funcionalidad ecológica, así como un interés por parte de la población en mejorar su entorno, requiriendo únicamente una orientación adecuada sobre las formas de hacerlo. El principal desafío consiste en articular estos elementos mediante una estrategia integral que contemple tanto la dimensión ecológica como la social.

Tomando en cuenta que el problema lleva décadas sin ser atendido por las instituciones y que la población tampoco ha hecho valer plenamente su derecho a un ambiente sano, la recuperación del río requiere de una estrategia que contemple varias líneas de acción. Es importante considerar a la población como un actor prioritario desde las primeras etapas de cualquier proyecto, no solo en jornadas de

limpieza, sino también en la identificación de los problemas, la toma de decisiones y el seguimiento de las acciones, ya que su participación puede favorecer que los proyectos se mantengan a largo plazo. Para ello, es necesario llevar a cabo campañas de educación ambiental que permitan a los habitantes dejar de ver al río como un simple dren que debe entubarse y reconocerlo como un ecosistema que se debe ser recuperado. Asimismo, se deben dar a conocer instrumentos como la LGEEPA, la LAN y la NOM-001-SEMARNAT-2021, para que la población cuente con herramientas que le permitan exigir el cumplimiento de las leyes y normas aplicables.

A la par, se debe exigir a la CONAGUA, la CEA y el municipio la atención de las descargas identificadas y la aplicación de las sanciones correspondientes a los responsables, incluyendo a las inmobiliarias que no hayan cumplido con el saneamiento de las aguas residuales de sus proyectos. También es necesario realizar inspecciones a los nuevos desarrollos, establecer un monitoreo regular de la calidad del agua y transparentar el estado de los proyectos de plantas de saneamiento que, pese a haber sido aprobados, no se han llevado a cabo.

Una vez atendido lo anterior, se debe atender la rehabilitación del río, comenzando por las zonas que aún conservan características naturales, como los puntos 1 y 2, para después extender las intervenciones al resto de los tramos. Estas acciones deben enfocarse en la recuperación de la vegetación riparia y en la construcción de estructuras que favorezcan la recuperación de la dinámica hidráulica del río, mediante la formación de pozas y zonas de rápidos y turbulencia. De esta manera, se buscaría recuperar progresivamente la diversidad de hábitats y las condiciones naturales del cauce, considerando las características de cada tramo.

La problemática de la contaminación hídrica en cuencas urbanas presenta una dinámica socioambiental diferente de la observada en entornos rurales, particularmente en la forma en que las poblaciones responden ante los impactos en

los ecosistemas. En las zonas urbanas, donde los ríos se encuentran frecuentemente confinados, canalizados o entubados, las acciones ciudadanas tienden solo a enfocarse en demandas ante las instituciones y normalmente no van dirigidas por la condición de los causes, sino por fallas en fugas del drenaje en las calles o cuando la contaminación de las industrias es muy evidente, más allá de ir por un sentimiento de conexión con los ríos.

En contraste, en las cuencas rurales, donde el ecosistema acuático mantiene un rol más importante en la vida cotidiana, ya sea para el riego, el abastecimiento o actividades domésticas, la respuesta social ante la contaminación suele manifestarse de forma más inmediata y de forma comunitaria debido a que dependen directamente del agua del río. Mientras que en las ciudades no se ve una afectación inmediata en las actividades cotidianas debido a que el recurso llega por tuberías a los domicilios y este proviene normalmente de cuerpos de agua no tan contaminados o del manto freático, aunado a un tratamiento previo (Carranza *et al.*, 2020; Wagner, 2010; Godoy, 2022).

De esta manera, mientras los entornos urbanos tienden a tomar la contaminación de sus cauces como parte del desarrollo tomando acciones mínimas para su protección, en las zonas rurales las comunidades suelen organizarse para la protección o rehabilitación de sus fuentes de agua pues dependen directamente de estas para su supervivencia.

Conclusiones

Con este trabajo de investigación se evidencia el grave deterioro socioambiental que ha tenido el río de la subcuenca El Arenal, producto del crecimiento desordenado de la zona sumado a la omisión sistemática de la normativa vigente sobre las descargas de aguas residuales por parte de constructoras, instituciones reguladoras y la propia población. Este proceso de degradación se profundiza por la desconexión de la sociedad con el medio natural, que prioriza un desarrollo que,

si bien ofrece oportunidades, conlleva una modificación agresiva del ambiente y la consecuente pérdida de los servicios ecosistémicos.

El primer objetivo, mediante la selección de puntos de exploración con ayuda de los SIG y los recorridos de campo, permitió identificar 18 sitios con evidencia de descargas de aguas residuales, principalmente de origen domiciliario, a lo largo de la subcuenca. Asimismo, se reconoció el uso del cauce como tiradero de basura por parte de la población. La presencia y el origen de la contaminación muestran que el problema no es causado por un solo actor, sino que involucra a la población, las inmobiliarias y los organismos reguladores.

El segundo objetivo, mediante el análisis de DQO, NT y *E. coli*, evidenció la gravedad de la contaminación del agua del río El Arenal, ya que las concentraciones registradas superaron los límites de referencia establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-2021 y los criterios de clasificación de la CONAGUA. Los resultados permiten reconocer que la principal fuente de contaminación corresponde a las descargas de aguas residuales domiciliarias sin tratamiento. Asimismo, las altas concentraciones de NT a lo largo del cauce indican el ingreso de nutrientes nitrogenados mediante fuentes difusas, como la escorrentía proveniente de áreas agrícolas y del campo de golf, donde el uso de fertilizantes contribuye a dicha carga.

El tercer objetivo permitió conocer las perspectivas e historias de la población de Jurica, Juriquilla y Santa Rosa Jáuregui sobre la contaminación del río El Arenal, recabando información sobre cómo perciben al río, los impactos que les genera, los factores que consideran que afectan su condición y los cambios que han notado a lo largo del tiempo. Las entrevistas mostraron una percepción negativa y una preocupación generalizada por su deterioro, señalando las aguas residuales y la basura como los principales problemas. La responsabilidad del estado del río se atribuyó principalmente a las autoridades, pero también se reconoció una responsabilidad de la propia población. A su vez se identificó una disposición entre parte de la población a participar en acciones de mejora del río de ser convocados.

En conjunto, los resultados de los tres objetivos permitieron evaluar la condición socioambiental de la contaminación hídrica en la subcuenca El Arenal. La identificación de descargas de aguas residuales, los análisis de DQO, NT y *E. coli* y la percepción de la población coinciden en que el río funciona como un drenaje a cielo abierto, cuya contaminación está asociada principalmente a las aguas residuales domiciliarias sin tratamiento, un problema causado por el crecimiento acelerado de la ciudad y por la falta de atención de las autoridades. Integrar la parte técnica con la social mostró que el deterioro del río no solo se refleja en la calidad del agua, sino también en la forma en que la población lo percibe y se relaciona con él. Esta información puede ser útil para las autoridades locales y estatales, como la CEA, la CONAGUA y el municipio, para orientar acciones de saneamiento y vigilancia de las descargas, así como para instituciones académicas y organizaciones interesadas en la problemática.

Referencias bibliográficas

- Aguado, M., Calvo, D., Dessal, C., Riechmann, J., González, J., y Montes, C. (2012). La necesidad de repensar el bienestar humano en un mundo cambiante. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, 119(2), 49-76.
- Aguilar-Ibarra, A., Villanueva-Fragoso, S., Guzmán-Amaya, P., y Vázquez-Botello, A. (2006). La contaminación del agua como una externalidad para la producción pesquera y acuícola. En P. Guzmán Amaya y D. F. Fuentes Castellanos (Coords.), *Pesca, acuicultura e investigación en México* (pp. 107–119). Cámara de Diputados, LIX Legislatura, Congreso de la Unión.
- Aguirre Martínez, P. A., y Castro Rubio, E. (2014). *Análisis multitemporal del comportamiento de la DBO, DQO y el oxígeno disuelto en la cuenca alta del río Bogotá entre los años 2010 al 2013* [Trabajo de grado, Universidad de La Salle]. Repositorio Institucional de la Universidad de La Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/920.
- Aguirre Núñez, M. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista Virtual REDESMA*, 5(1), 9–20. http://revistasbolivianas.ciencia.bo/scielo.php?script=sci_arttextpid=S1995-10782011000100003yIng=esynrm=iso.
- Aiello, A. E., Larson, E. L., y Sedlak, R. (2008). Hidden heroes of the health revolution Sanitation and personal hygiene. *American journal of infection control*, 36(10), S128-S151.
- Alanís Anaya, R. M. (2024). Susceptibilidad a inestabilidad del terreno derivada del crecimiento urbano en la ciudad de Querétaro, México. *Territorium*, 31(1), 5-18. https://doi.org/10.14195/1647-7723_31-1_1.

- American Public Health Association, American Water Works Association, y Water Environment Federation. (1999). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (20th ed.).
- Arauzo, M., Bastida, J. J., y Valladolid, M. (2008). Contaminación por nitrógeno en el sistema “río–acuífero aluvial” de la cuenca del Jarama (Comunidad de Madrid, España): ¿Origen agrícola o urbano? *Limnetica*, 27(2), 195–210. <https://doi.org/10.23818/limn.27.16>.
- Arce-Villalobos, K., Sánchez-Gutiérrez, R., Centeno-Morales, J., Marín-León, R., y Rodríguez-Rodríguez, J. A. (2022). Calidad del agua superficial y presiones socioambientales en la microcuenca alta del río Poás. *Uniciencia*, 36(1), 382–404. <https://www.redalyc.org/journal/4759/475974057024/html/>
- Ávila García, P. (2004). Agua y vulnerabilidad socioambiental. *Carta Económica Regional*, (90), 47–52. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7950912>.
- Barra Rocha, C. H., Duarte, R. L., de Castro Matoso, R. O., Souza, L. do V., da Silveira, F. J., y de Moraes Machado, M. M. (2022). Socio-environmental vulnerabilities associated with the implementation of highways on the banks of the public supply reservoir of the São Pedro Dam, Juiz de Fora, Minas Gerais. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 11(1), 1-27. <https://doi.org/10.5585/geas.v11i1.19805>.
- Calvo-Brenes, G., y Mora-Molina, J. (2015). Evaluación de la calidad del agua en los ríos Tigre y Rincón de la península de Osa en dos períodos de tiempo distintos. *Tecnología en Marcha*, 28(3), 55–63. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822015000300055.

- Cañizares Martínez, L. L. (2024). *Estrategia de educación ambiental no formal para la gestión integrada de la microcuenca La Cañada, Querétaro* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio Institucional UAQ. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/11092>.
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., y Smith, V. H. (1998). *Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen*. *Ecological Applications*, 8(3), 559–568. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1998\)008\[0559:NPOSWW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1998)008[0559:NPOSWW]2.0.CO;2).
- Carranza, T., Frêne, C., Núñez, A., y Urquiza, A. (2020). Conflictos socioambientales en Chile: Minería, contaminación del agua y resistencia comunitaria. *Revista Latinoamericana de Estudios Ambientales*, 15(2), 45–67.
- Castro, H. (2011). Naturaleza y ambiente. Significados en contexto. En R. Gurevich (Comp.), *Ambiente y educación: Una apuesta al futuro* (pp. 43–74). Paidós.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2009). *Semblanza histórica del agua en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-28SemblanzaHist%C3%B3ricaM%C3%A9xico.pdf>.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2018). *Estadísticas del agua en México, edición 2018*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/publicaciones-estadisticas-y-geograficas-60692>.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUAa). (2024) *Indicadores de Calidad del Agua*. <https://www.gob.mx/conagua/es/articulos/indicadores-de-calidad-del-agua?idiom=es>.

- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2024). *Calidad del agua superficial 2012-2022* [Archivo de Excel]. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/925193/Calidad_del_Agua_Superficial_p.xlsx.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. (5 de febrero de 1917). *Diario Oficial de la Federación*. Última reforma publicada el 22 de marzo de 2024.
- Cotler, H. (Comp.). (2007). El manejo integral de cuencas en México: Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental (2.^a ed.). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto Nacional de Ecología.
- Cotler, H., y Caire, G. (2009). Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y WWF.
- Cunha Costa, C., Sobral Oliveira, I., y Gomes, L. (2010). Percepción ambiental como estrategia para el ecoturismo en unidades de Conservación. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 19(6), 1121-1135.
- De Anda, J., y Maniak, U. (2007). Modificaciones en el régimen hidrológico y sus efectos en la acumulación de fósforo y fosfatos en el lago de Chapala, México. *Interciencia*, 32(2), 100-107.
- Dietz, T., y Rosa, E. A. (1994). Rethinking the Environmental Impacts of Population, Affluence and Technology. *Human Ecology Review*, 1(2), 277–300. <http://www.jstor.org/stable/24706840>.
- Dirección de Investigación y Estadística Legislativa. (2022). *Ley que regula la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento del Estado de Querétaro*

<https://site.legislaturaqueretaro.gob.mx/CloudPLQ/InvEst/Leyes/LEY-ID-107.pdf>.

Domínguez-Gómez, J. A. (2022). The modernization of content analysis: Examples of application in socio-environmental evaluation. *New Trends in Qualitative Research*, 14, e577. <https://doi.org/10.36367/ntqr.14.2022.e577>.

Fida, M., Li, P., Wang, Y. *et al.* Water Contamination and Human Health Risks in Pakistan: A Review. *Expo Health* 15, 619–639 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12403-022-00512-1>.

FIRCO-UAQ-UAEM. 2005. Delimitación y clasificación Nacional de Microcuencas Hidrográficas. Programa Nacional de Microcuencas. SAGARPA.

Flores, M. (2019, octubre 8). Conagua y CEA deben sancionar descargas ilegales en el dren El Arenal. *AlDiálogo*. <https://aldialogo.mx/queretaro/2019/10/08/conagua-y-cea-deben-sancionar-descargas-ilegales-en-el-dren-el-arenal>.

Gamarra Torres, O. A., Barrena Gurbillón, M. A., Barboza Castillo, E., Rascón Barrios, J., Corroto, F., y Taramona Ruiz, L. A. (2018). Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 25(1), 179–194. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25111>.

Geba, N. B., Fernández L., L. E., y Bifaretti, M. C. (2010). Marco conceptual para la especialidad contable socio-ambiental. *Actualidad Contable Faces*, 13(20), 49-60. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=25715828005>.

Guest, G., Bunce, A., y Johnson, L. (2006). How Many Interviews Are Enough?: An Experiment with Data Saturation and Variability. *Field Methods*, 18(1), 59–82. <https://doi.org/10.1177/1525822X05279903>.

- Gil-Mora, J. E., Flores Boza, Álvaro H., Ochoa Ramos, K. J., y Valencia Oviedo, N. A. (2022). Determinación de la pérdida de la calidad de un río urbano en Cusco: Caso Saphy. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 3722-3748. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1765.
- Godoy, C., (2022). Minería del litio en Chile y conflictividad social: una mirada sobre los aspectos político-comercial, geopolítico y socioambiental desde una perspectiva interméstica. *Estudios Avanzados*, (36), 97-116. <https://doi.org/10.35588/estudav.v0i36.5650>.
- González Reynoso, E., Hernández Muñoz, L., Perló, M., y Zamora, I. (2010). Rescate de ríos urbanos. Universidad Nacional Autónoma de México, Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad. <http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/329>.
- Guzmán-Colis, G., Thalasso, F., Ramírez-López, E. M., Rodríguez-Narciso, S., Guerrero-Barrera, A. L., y Avelar-González, F. J. (2011). Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el estado de Aguascalientes, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(2), 89–102. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000200001&lng=esytlng=es.
- Holdren, J. P., y Ehrlich, P. R. (1974). Human population and the global environment: Population growth, rising per capita material consumption, and disruptive technologies have made civilization a global ecological force. *American Scientist*, 62(3), 282-292. <https://www.jstor.org/stable/27844882>.
- Hopkins, J. N. (2007). The Cloaca Maxima and the monumental manipulation of water in archaic Rome. *The waters of Rome*, 4(2007), 1-15.

- Ibarrarán, M. E., Mendoza, A., Pastrana, C., y Manzanilla, E. J. (2017). Determinantes socioeconómicos de la calidad del agua superficial en México. *Región y Sociedad*, 29(69), 89-125. <https://doi.org/10.22198/rys.2017.69.a325>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2024). Marco Geoestadístico 2024 INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1970). *IX Censo General de Población 1970*. INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1980). *X Censo General de Población 1980*. INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). *Continuo de elevaciones mexicano y modelos digitales de elevación*. INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (1997). *Conjunto de datos vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación, Serie II*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).(2023). Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the

Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
Cambridge University Press.

Iñiguez Rojas, L. (1996). Lo socioambiental y el bienestar humano. *Revista Cubana de Salud Pública*, 22, 13–14.

Jarrige, F., y Roux, T. (2020). The contamination of the Earth: A history of pollutions in the industrial age. The MIT Press.
<https://doi.org/10.7551/mitpress/11947.001.0001>.

Jiménez Marce, R. (2015). El medio ambiente como sistema socioambiental: Reflexiones en torno a la relación humanos-naturaleza. *Secuencia*, 92, 236–240. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-03482015000200011&lng=es&tylng=es.

Jujnovsky, J., Ramos, A., Caro-Borrero, Á., Mazari-Hiriart, M., Maass, M., y Almeida-Leñero, L. (2017). Water assessment in a peri-urban watershed in Mexico City: A focus on an ecosystem services approach. *Ecosystem Services*, 24, 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.02.005>.

Koncagül, E., Tran, M., y Connor, R. (2021). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2021: El valor del agua; datos y cifras (SC-2021/WS/3). UNESCO, Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP).
https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751_spa.

Larrea Murrell, Jeny Adina, Romeu Alvarez, Beatriz, Lugo Moya, Daysi, y Rojas Badía, Marcia M. (2022). Aspectos fundamentales del monitoreo de calidad de las aguas: el río almendares como caso de estudio. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 53(2), 148-159. Epub 27 de junio de 2022.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2221-24502022000200148&lng=es&tylng=es.

Ley de Aguas Nacionales. (1 de diciembre de 1992). *Diario Oficial de la Federación*. Última reforma publicada el 8 de mayo de 2023.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (28 de enero de 1988). *Diario Oficial de la Federación*. Última reforma publicada el 1 de abril de 2024.

Lin, L., Yang, H., y Xu, X. (2022). Effects of Water Pollution on Human Health and Disease Heterogeneity: A Review. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 880246. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.880246>.

Lofrano, G., y Brown, J. (2010). Wastewater management through the ages: a history of mankind. *The Science of the total environment*, 408(22), 5254–5264. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.062>.

López-Mares, L. M., Lozano de Poo, J. M., Torre-Silva, F., Rodríguez-Santiago, J., y López-Fraga, J. A. (2019). El ciclo hidro-social de los ríos urbanos: Transformaciones al paisaje hídrico en San Luis Potosí, México. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(1), 45–63. <https://doi.org/10.15359/rca.53-1.3>.

Mancilla-Villa, O. R., Gómez-Villaseñor, L., Olguin-López, J. L., Guevara-Gutiérrez, R. D., Hernandez-Vargas, O., Ortega-Escobar, H. M., Flores-Magdaleno, H., Can-Chulim, Á., Sánchez-Bernal, E. I., Cruz-Crespo, E., y Palomera-García, C. (2022). Contaminación orgánica por coliformes, nitrógeno y fósforo en los ecosistemas acuáticos de la cuenca Ayuquila-Armería, Jalisco, México. *Biotechnia*, 24(1), 5–14. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v24i1.1283>.

Martín, A., y Santamaría, J. M. (2004). Diccionario terminológico de contaminación ambiental. EUNSA.

Martínez Romero, G. (2011). *Percepciones ambientales y prácticas culturales en torno a la contaminación del agua: Estudio de caso de El Arenal, Qro.* [Tesis

de licenciatura, Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Filosofía].
Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Montes de Oca Barrera, L. B. (2016). Una ventana epistémica a la (inter) subjetividad. Las potencialidades del método etnográfico [45 párrafos]. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, 17(1), Art. 8. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0114-fqs160183>.

Musalem, K., Cámara-Córdova, J., Laino, R., González-Espinosa, M., y Marcial, N. (2014). Manejo integral de cuencas hidrográficas (MICH): el enfoque utilizado en el proyecto FORDECYT Cuenca Grijalva. En M. González-Espinosa y M. C. Brunel Manse (Eds.), *Montañas, pueblos y agua: Dimensiones y realidades de la Cuenca Grijalva* (pp. 82-102). El Colegio de la Frontera Sur.

Museo del Agua. (2025). *Informe contaminación: Deterioro silencioso. Aproximación a la relación agua, contaminación y salud*. Querétaro, México.

Navarro, M. (2019, 2 de mayo). En 2019 invertirán 110 mdp en planta tratadora El Arenal. *El Universal Querétaro*. <https://www.eluniversalqueretaro.mx/sociedad/en-2019-invertiran-110-mdp-en-planta-tratadora-el-arenal/>.

Novoa, J. A. G., del Olmo, C. M., y Molina, I. S. (2007). Capital natural y desarrollo: por una base ecológica en el análisis de las relaciones Norte-Sur. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, (100), 63-77.

Ochoa-Ramírez, J. A., Lamy, B., y Serrano-Sánchez, Á. (2019). Migración interna y sus efectos en el crecimiento urbano del municipio de Querétaro. *Quivera*, 21(2), 49-61. <https://doi.org/10.36677/qret.v21i2.12449>.

Ortega Armenta, R., Leyva Aguilera, J. C., Sánchez Vázquez, M. A., Espejel Carbajal, I., y Martínez, G. C. (2012). Diagnóstico socioambiental como

fundamento para una estrategia de educación ambiental en Colón, Baja California. *Región y Sociedad*, 24(53), 153-187. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252012000100005&lng=es&lng=es.

Osorio Franco, L. E. (2012). *Jurica, un pueblo que la ciudad alcanzó: La construcción de la pertenencia socio-territorial* (1ª ed.). Miguel Ángel Porrúa.

Pacheco, R. (2016, 5 de enero). Los Juncos, otra colonia que carece de servicios. *Noticias de Querétaro*. <https://noticiasdequeretaro.com.mx/2016/01/05/los-juncos-otra-colonia-que-carece-de-servicios/>.

Pedroza Meneses, H. I. (2021). *Diseño de un sistema agroecológico para la sostenibilidad de la microcuenca La Cañada, Querétaro* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio Institucional UAQ.

Peniche Camps, S. (2025). Contaminación del agua e insuficiencia renal en la cuenca alta del río Grande de Santiago, Jalisco, México: una visión desde la perspectiva de la economía ecológica. *Agua y Territorio*, 25. <https://doi.org/10.17561/at.25.8065>.

Pérez, F. (2021, febrero 10). Semarnat autoriza primera macro planta tratadora de agua. *AlDiálogo*. <https://aldialogo.mx/queretaro/2021/02/10/semarnat-autoriza-primera-macro-planta-tratadora-de-agua>.

Perló, M., y Saenz, I. (2017). Perspectivas ambientales sobre la contaminación y la recuperación del río Magdalena en la ciudad de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 377-391. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.03.02>.

Prüss-Ustün, A., Wolf, J., Bartram, J., Clasen, T., Cumming, O., Freeman, M. C., Gordon, B., Hunter, P. R., Medlicott, K., y Johnston, R. (2019). Burden of

disease from inadequate water, sanitation and hygiene for selected adverse health outcomes: An updated analysis with a focus on low- and middle-income countries. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222(5), 765–777. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.05.004>.

Pulver, S., Burnside, W. R., Alexander, S. M., Avolio, M. L., y Fiorella, K. J. (2022). Introduction: Foundations of socio-environmental research. In W. R. Burnside, S. Pulver, K. J. Fiorella, M. L. Avolio, y S. M. Alexander (Eds.), *Foundations of socio-environmental research: Legacy readings with commentaries* (pp. 1–12). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009177856.002>.

QGIS Development Team. (2024). QGIS Geographic Information System (Version 3.40) [Software]. QGIS Association. <https://qgis.org>.

Raifman, S., DeVost, M. A., Digitale, J. C., y others. (2022). Respondent-driven sampling: A sampling method for hard-to-reach populations and beyond. *Current Epidemiology Reports*, 9, 38–47. <https://doi.org/10.1007/s40471-022-00287-8>.

Ramírez Herrejón, J. P., Olvera Rodríguez, K. J., Mariscal de Souza, G., Carbajal Becerra, O., Cantoral Uriza, E. A., y Bojorge García, M. G. (2018). *Aquatic communities monitoring of the Querétaro River: Annual report*. Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ciencias Naturales, Maestría en Gestión Integrada de Cuencas.

Ramos Rincón, J. M., Bermudez, A., y Rojas, T. (2018). Contaminación odorífera: causas, efectos y posibles soluciones a una contaminación invisible. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 9(1), 165-180. <https://doi.org/10.22490/21456453.2053>.

- Ramos-Herrera, S., Broca-Martínez, L. F., Laines-Cañepa, J. R., y Carrera-Velueta, J. M. (2012). Tendencia de la calidad del agua en ríos de Tabasco, México. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, 16(3), 207-217. <https://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen16/tendencia.pdf>.
- Reboratti, C. (2012). Socio-environmental conflict in Argentina. *Journal of Latin American Geography*, 11(2), 3–20.
- Rodríguez Contreras, F. E., Martínez Rivera, L. M., y Palomera García, C. (2017). Contextualización socioambiental del agave en Tonaya, Jalisco, México. *Región y Sociedad*, 29(70), 71–102. <https://doi.org/10.22198/rys.2017.70.a406>.
- Rodríguez, A. (2015). Río Querétaro: Una larga historia de contaminación. *Tribuna de Querétaro*. <https://tribunadequeretaro.com/informacion/rio-queretaro-una-larga-historia-de-contaminacion/>.
- Rodríguez, E. ., y Quintanilla, . A. L. . (2022). Relación ser humano-naturaleza: Desarrollo, adaptabilidad y posicionamiento hacia la búsqueda de bienestar subjetivo. *Avances En Investigación Agropecuaria*, 23(3), Pags 7–22. <https://revistasacademicas.uco.mx/index.php/agropecuaria/article/view/238>.
- Santamaría-Zarate, Y., Angulo-de Castro, I., y Ordoñez-Díaz, M. M. (2021). Análisis multitemporal y estadístico de parámetros fisicoquímicos monitoreados en la cuenca alta del río Bogotá. *Revista UIS Ingenierías*, 20(4), 13–26. <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n4-2021002>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2021). *NOM-001-SEMARNAT-2021: Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación*. SEMARNAT.

- Sepúlveda Vargas, R. D. (2015). Conflictos socioambientales en la cuenca baja del río Sinú, Colombia. *Revista Direitos Emergentes na Sociedade Global*, 4(1), 23–43. <https://doi.org/10.5902/2316305420377>.
- Swallow, B. M., Johnson, N. L., y Meinzen-Dick, R. S. (2001). Working with people for watershed management. *Water Policy*, 3(6), 449-455.
- Torres Beristáin, B., González López, G., Rustrían Portilla, E., y Houbbron, E. (2013). Enfoque de cuenca para la identificación de fuentes de contaminación y evaluación de la calidad de un río, Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), 135-146. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000300001&lng=es&esytlng=es.
- Torres-Rivera, S., Torres-Hernández, J. R., Carranco-Lozada, S. E., García-Arreola, M. E., López-Doncel, R. A., y Montenegro-Ríos, J. A. (2023). Anthropogenic contamination in the free aquifer of the San Luis Potosí Valley. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(12), 6152. <https://doi.org/10.3390/ijerph20126152>.
- Vásquez Villanueva, A., Mejía Marcacuzco, A., Manco, J. F., Terán Adiazola, R., Vásquez Romero, I., Díaz Rimarachín, J., y Cristian. (2016). *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas* (1ª ed.). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Wagner, L. S. (2010). *Problemas ambientales y conflicto social en Argentina: Movimientos socioambientales en Mendoza. La defensa del agua y el rechazo a la megaminería en los inicios del siglo XXI* [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Quilmes. https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/RIDAA_92784c877809ea9a9b63872839a53b95.

- Webster, C. (1962). The Sewers of Mohenjo-Daro. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 34(2), 116–123. <http://www.jstor.org/stable/25034575>.
- Xu, Z., Xu, J., Yin, H., Jin, W., Li, H., y He, Z. (2019). Urban river pollution control in developing countries. *Nature Sustainability*, 2(2), 158–165. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0249-7>.

Anexo 1



Universidad Autónoma de Querétaro
Maestría en Gestión Integral de Cuencas
Entrevista Percepción social sobre la contaminación del dren El
Arenal



Esta entrevista tiene como objetivo conocer la opinión de la población que vive cerca del Dren El Arenal respecto a la problemática de su contaminación. La información recopilada será utilizada exclusivamente para la elaboración de una tesis para la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas.

Género: _____ Fecha: _____
Edad: _____ N° de entrevista: _____
Ocupación: _____
Escolaridad: _____
Tiempo de vivir en el sitio: _____

¿Para usted que representa el cauce del dren El Arenal tanto en la parte acuática como en las áreas verdes de la rivera?

¿En particular, a usted le preocupa la contaminación del Dren?

¿Por qué?

¿Cómo considera la calidad del agua del dren?

¿Has visto algún cambio en la calidad del agua del dren a lo largo de los años?

--Cambios de color, ha detectado olores, hay más basura, etc.--

¿Qué tipos de contaminantes sabe que están presentes en dren?

¿Ha visto manchas de aceite, basura, animales muertos u otro contaminante?

¿Usted quien considera que es el responsable del estado actual del Dren?

¿Cómo le afecta vivir cercano al dren? (positiva o negativamente)

¿Qué actividades realiza que involucre al Dren?

¿Ha dejado de realizar alguna?

¿Qué acciones cree que se deberían llevar a cabo para subsanar la problemática?

¿Ha participado en alguna iniciativa comunitaria relacionada con la mejora del dren?

¿Considera que la contaminación del Dren repercute en otra problemática?

¿Dentro de la comunidad en la que vive identifica algún otro problema ambiental?

Falta de áreas verdes, deforestación, tiraderos de basura al aire libre, contaminación del aire, etc.

¿Qué problemática cree que es más urgente atender en su comunidad ya sea ambiental o social?

¿Gusta agregar algo más?