

Licencia Creative Commons (CC BY-NC 4.0)

Artículos Científicos

DOI: <https://doi.org/10.25009/uvs.vi17.3025>

Disponibilidad del agua: caudales, percepción y opinión en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz, México

Water availability: flows, perception and opinion in the Pixquiac river micro-basin, Veracruz, Mexico

Sergio López Olvera ^a | Socorro Menchaca Dávila ^b
Rabindranarth Romero López ^c

Recibido: 31 de enero de 2024.

Aceptado: 15 de abril de 2024.

^a Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz (OABCC), Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social-Golfo (CIESAS-Golfo). Xalapa, México. Contacto: lopezolverasergio@gmail.com | ORCID: [0009-0003-8793-7639](https://orcid.org/0009-0003-8793-7639)

^b Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz (OABCC), Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana. Xalapa, México. Contacto: socorro.menchaca@gmail.com | ORCID: [0000-0002-4471-9602](https://orcid.org/0000-0002-4471-9602)

^c Observatorio Nacional del Posgrado (ONAPO), Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Veracruzana. Xalapa, México. Contacto: rabromero@uv.mx | ORCID: [0000-0001-8704-9744](https://orcid.org/0000-0001-8704-9744)

Cómo citar:

López-Olvera, S., Menchaca-Dávila, S. y Romero-López, R. (2024). Disponibilidad del agua: caudales, percepción y opinión en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz, México. *UVserva*, (17), 269-289. <https://doi.org/10.25009/uvs.vi17.3025>

Resumen: Diversas investigaciones plantean la escasez de agua como un problema complejo y multifactorial. En este proyecto se analiza la disponibilidad del agua para el uso doméstico en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz. Se analizaron aforos mensuales en tres presas en la microcuenca y se midió la percepción y opinión de los usuarios del agua respecto a su disponibilidad. Se observó que a pesar de que el volumen extraído para usos antrópicos en las presas no ha variado, el agua que escurre en los ríos ha disminuido, alcanzando niveles críticos durante el estiaje. La mayoría de los usuarios perciben escasez desde hace al menos una década, principalmente durante abril y mayo e identifican como principales causas la deforestación y el crecimiento poblacional, seguidas por el cambio climático y opinan que la escasez y sus afectaciones empeorarán en el futuro cercano. Los resultados sugieren que la disminución en la disponibilidad se debe principalmente a una menor precipitación en las zonas media y alta de la microcuenca y una creciente demanda del recurso en la zona baja.

Palabras clave: Escasez; caudales; comunidad; gobernanza; cambio climático.

Abstract: *Various studies present water scarcity as a complex and multifactorial problem. This project analyzes water availability for domestic use in the Pixquiac river micro-basin in Veracruz. Monthly flow measurements at three dams in the micro-basin were analyzed, and the water users' perception and opinion regarding its availability were measured. It was observed that although the water flowing in the rivers has decreased, reaching critical levels during the dry season, the volume extracted from the dams to supply the city of Xalapa has not varied. Most users have perceived scarcity for at least a decade, mainly during April and May, and identify deforestation and population growth as the main causes, followed by climate change. They believe that the scarcity and its impacts will worsen soon. The results suggest that the decrease in availability is mainly due to reduced precipitation in the middle and upper areas of the micro-basin and a growing demand for the resource in the lower area.*

Keywords: *Scarcity; Flows; Community; Governance; Climate Change.*

Introducción

La crisis mundial del agua, agravada por el cambio climático, el crecimiento de la población y el uso indiscriminado del agua, se manifiesta de manera crítica en regiones como India y Sudáfrica, donde la escasez de agua es una preocupación apremiante (du Plessis, 2017) igual que en otras regiones del mundo.

La complejidad de esta situación se intensifica debido factores socioeconómicos como el desajuste entre la oferta y la demanda de agua, el deterioro de la infraestructura y la contaminación (Chakkaravarthy, 2019; Khilchevskiy et al., 2020; Madani et al., 2016; Padder y Bashir, 2023).

Esta problemática se ha abordado desde diversos enfoques. Algunos autores abogan por una evaluación mundial de estrategias para reducir el estrés hídrico (Wada et al., 2014), mientras que otros destacan la relevancia de la desalinización y reutilización del

agua como alternativas ante la escasez (Gude, 2017). Por su parte, Boelens *et al.* (2018) resalta la necesidad de justicia hídrica, especialmente frente al cambio climático para reducir las desigualdades. Shandas *et al.* (2015) subrayan la importancia de coordinar el ordenamiento territorial y la gestión del agua, especialmente en el ámbito urbano. Tanto Othman *et al.* (2015) como Khilchevskiy *et al.* (2020) enfatizan la necesidad de un enfoque sistémico de los problemas de los recursos hídricos, tomando en cuenta fuentes alternativas. Padder y Bashir (2023) ofrecen un conjunto de posibles soluciones, desde la conservación del agua hasta la cooperación internacional. Finalmente, Bei *et al.* (2019) proponen soluciones prácticas para los problemas de suministro de agua en China, destacando el trasvase de agua y procesos avanzados de tratamiento.

La distribución desigual del agua a nivel mundial contribuye a la escasez (Khilchevskiy *et al.*, 2020; Tundisi *et al.*, 2015). Ante estos retos, se enfatiza la necesidad de implementar una combinación de medidas, que incluya el desarrollo de fuentes de agua alternativas como la captación pluvial y la reutilización de aguas residuales, mejoras en la eficiencia del uso del agua y cambios en la gestión y planificación del agua (Gleick y Cooley, 2021). En consecuencia, abordar la crisis global del agua requiere tanto de acciones a nivel local como de estrategias y políticas a escala mundial para garantizar una gestión sostenible de este recurso y un acceso universal.

En el contexto de México, la disponibilidad de agua enfrenta complejidades influenciadas por la degradación en los ecosistemas conexos al agua, el cambio climático, la urbanización, deficiencias de gestión y de gobernanza, entre otros. Las proyecciones indican que, debido al cambio climático, la disponibilidad de agua se podría reducir del 10 % al 17 % para 2050, siendo particularmente vulnerables las regiones del norte y centro del país (Herrera-Pantoja y Hiscock, 2015; Martínez *et al.*, 2015; Ramírez-Sánchez *et al.*, 2022). El suministro desigual, con un considerable 77 % utilizado en la agricultura, agrava esta situación (Oswald, 2014), generando controversias en las políticas públicas y reformas legales (Otaño-Sánchez *et al.*, 2020). Se cuestiona la eficacia del enfoque centrado en infraestructura, y se propone la gestión integrada del agua como paradigma (Oswald, 2014).

La microcuenca del río Pixquiac enfrenta una compleja problemática de disponibilidad de agua, influenciada tanto por factores naturales como la disminución de la precipitación y la erosión, como por factores antrópicos incluyendo el cambio climático, la intensificación agrícola, y el aumento de la demanda de agua para uso humano e industrial. Este escenario se traduce en una variación importante en los caudales de los ríos, especialmente durante la temporada de estiaje, con reducciones drásticas en estos, lo cual es percibido por la comunidad local como una disminución notable del recurso hídrico. Esto no solo afecta la cantidad de agua disponible para los usos antrópicos, sino también para los servicios ecosistémicos en la región (Menchaca *et al.*, 2022; Menchaca y Ulloa, 2021; Menchaca y Zapata, 2021).

Es fundamental reconocer que las percepciones y opiniones individuales juegan un papel crucial en la investigación de los problemas ambientales. La teoría sobre la percepción de Gibson, establece que ésta se moldea por la información que se recibe del entorno, más que por sensaciones internas del observador (Bravo Saucedo *et al.*, 2019). En este sentido, la operatividad del sistema perceptivo se alinea directamente con los estímulos ambientales (Bravo *et al.*, 2019), por lo que la preocupación de la

población por los problemas ambientales deriva de su sentido de conexión con la naturaleza (Schultz *et al.*, 2004). Por lo tanto, da Silva *et al.* (2020), Elwell *et al.* (2018) y Freitas *et al.* (2014) resaltan la relevancia de la percepción local para entender los cambios en el ambiente, orientar las acciones de gestión adecuadas y promover comportamientos favorables al medio ambiente.

Por otra parte, la opinión pública, particularmente en el ámbito de los problemas ambientales, desempeña un rol esencial tanto en la esfera académica como política, según destacan Tábara y Pardos Prado (2006). Desde el análisis académico, ayuda a entender cómo la sociedad interpreta y se enfrenta a estos problemas, identificando causas y diferencias entre grupos sociales. Políticamente, influye en decisiones cruciales para la mejora ambiental y la sustentabilidad. Estudiar la opinión, como señala (Árias, 20017), es vital para analizar tendencias sociales y promover cambios en las prácticas relacionadas al medio ambiente.

El propósito de este artículo es analizar la problemática de la disminución en la disponibilidad de agua en cantidad para uso doméstico en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz mediante el análisis de los caudales natural, antrópico (extraído para abastecer a la ciudad de Xalapa) y ecológico y las percepciones y opiniones de los usuarios domésticos.

1. Metodología

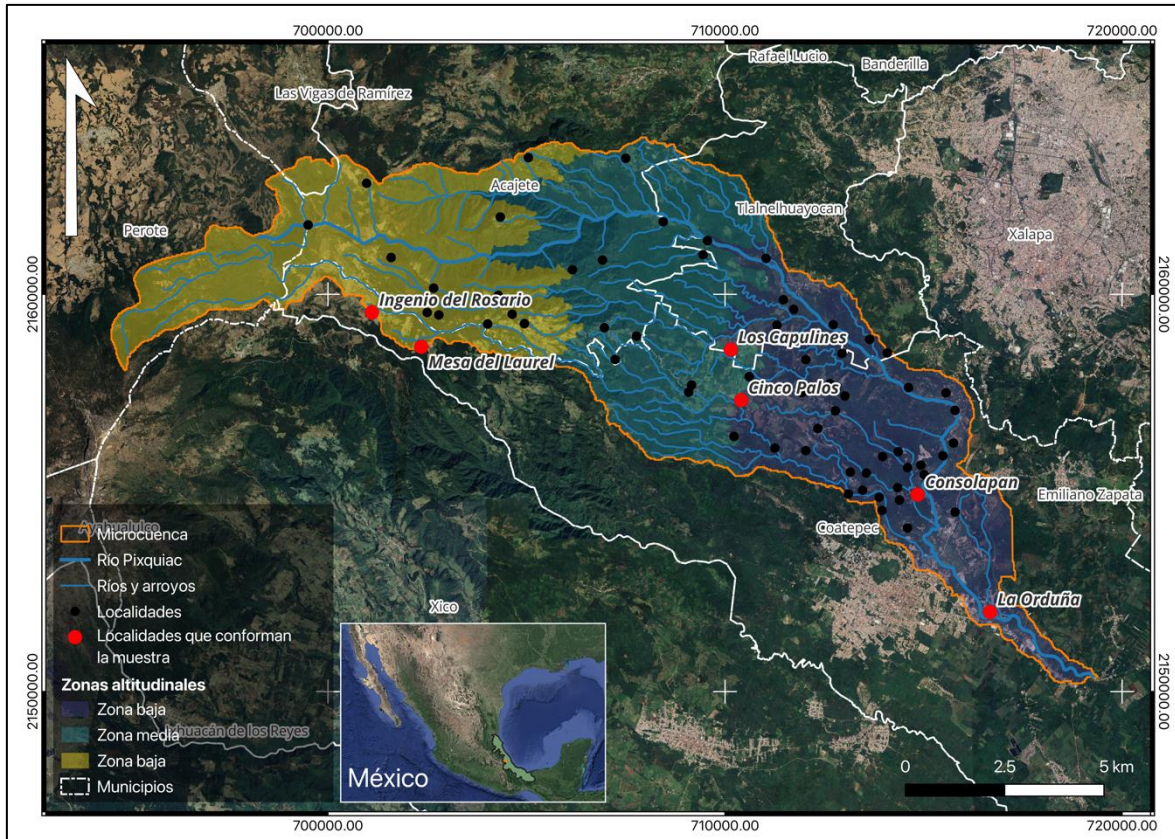
1.1. Zona de estudio

La microcuenca del río Pixquiac se encuentra en Veracruz, México, nace en la vertiente nororiental del sistema montañoso volcánico Cofre de Perote a 3,760 metros sobre el nivel del mar y se une con el río Sordo a 1,030 m. Está ubicada entre las coordenadas 19°33'35" y 19°26'05" latitud Norte y 96°54'39" y 97°08'45" de longitud Oeste. Tiene 24 ríos perennes y 188 arroyos intermitentes, siendo los principales tributarios los ríos Pixquiac, Huichila, Agüita Fría, Socoyolapan y Atopa.

Esta microcuenca consta de 79 localidades rurales distribuidas en cinco municipios: 23 en Acajete, 44 en Coatepec y 12 en Tlalnahuayocan. Limita al noreste con Xalapa, ciudad que obtiene el 40 % de su agua de uso público urbano de esta zona. El uso del suelo en el área se divide en 2,405 ha de uso agrícola, 2,576.4 ha de pastizales, 4,955 ha de bosque y 75.6 ha de suelo urbano construido (**Figura 1**).

Figura 1

Zona de estudio



Fuente: Elaboración propia con datos del Marco Geoestadístico Integrado (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2023) y el Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2024).

1.2. Variables e indicadores

A continuación se presentan la variable de interés en este estudio, su definición conceptual y los indicadores utilizados para su operacionalización. Esta variable permite una comprensión profunda de las interacciones entre el suministro natural del agua y su uso doméstico.

Además, se considerará la percepción y opinión de los usuarios del agua, lo que permite una evaluación integral y contextual de la problemática. Este enfoque interdisciplinario es vital para comprender la compleja dinámica de la disponibilidad del agua y sus implicaciones en el entorno social económico y ecológico (**Tabla 1**). Se señala, que no se incluyeron características de biodiversidad de la zona de estudio porque no se cuenta con información actualizada.

Tabla 1
Variables e indicadores

Variable	Definición	Indicadores
Disponibilidad del agua en cantidad	La disponibilidad del recurso hídrico es la interacción entre el suministro biofísico de agua y los usos consuntivos. Resultando en flujos superficiales y subsuperficiales accesibles (Brauman, 2015).	Caudal natural (m ³ /s)
		Caudal ecológico (m ³ /s) Caudal antrópico (m ³ /s) Significado de la palabra agua Percepción: escasez de agua, meses, duración. Opinión: causas de disminución de la disponibilidad del agua; afectaciones de la disminución de agua; y si continuará disminuyendo el recurso natural; y los problemas que se podrían derivar de dicha disminución.

Fuente: Elaboración propia.

1.3. Selección de la muestra

Para seleccionar la población de seis localidades ubicadas en la microcuenca del río Pixquiac, se emplearon tres criterios:

- La zona altitudinal, para lo cual se dividió la microcuenca en tres partes según su altitud.
- El tamaño de la población.
- La cercanía a los ríos y arroyos de las tres zonas altitudinales del área de estudio.

El tamaño de la muestra se obtuvo a partir del tamaño de la población de las seis localidades según el Censo de Población y Vivienda (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2020), considerando un nivel de confianza del 90 %, una proporción esperada de 50 % y un margen de error del 8 %. Para esto se empleó la ecuación para poblaciones finitas (Ecuación 1).

Ecuación 1

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * p * (1 - p)}$$

Donde:

n = tamaño de muestra

N = tamaño del universo

Z = nivel de confianza

e = margen de error

p = probabilidad de éxito o proporción esperada

Posteriormente, el número de cuestionarios se dividió entre las seis localidades elegidas de acuerdo al tamaño de sus poblaciones (**Tabla 2**).

Tabla 2
 Muestra

Zona de la microcuenca	Localidad	Población (habitantes)	Número de cuestionarios
Baja	La Orduña	1740	64
	Consolapan	482	16
Media	Cinco Palos	929	32
	Los Capulines	216	8
Alta	Ingenio del Rosario	236	9
	Mesa del Laurel	121	3
Total			132

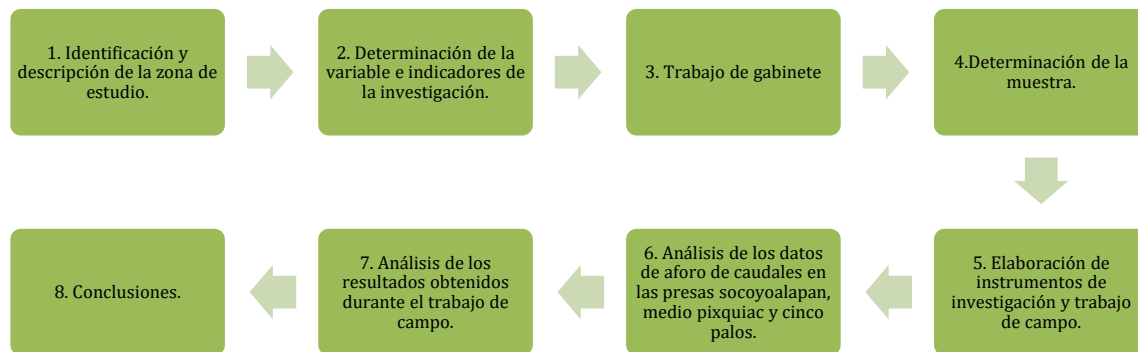
Fuente: Elaboración propia.

1.4. Instrumento

Se diseñó un cuestionario con preguntas abiertas y cerradas, compuesto de 3 partes. La primera de ellas aborda características generales y socioeconómicas de la población; la segunda el acceso al agua; y la tercera parte evalúa la percepción y opinión de la población respecto a la disponibilidad del agua en cantidad.

1.5. Procedimiento metodológico y estadístico

Figura 2
 Diagrama metodológico



Fuente: Elaboración propia.

a. Análisis de los caudales en las presas de la microcuenca

Se importaron a la interfaz de desarrollo *Rstudio* (Posit team, 2023) de la base de datos del Observatorio del Agua Bosques y Cuencas para el Estado de Veracruz con información sobre los caudales naturales, antrópicos y ecológicos aforados mensualmente en las presas Cinco Palos, Medio Pixquiatic y Socoyolapan por la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), donde se analizaron con el lenguaje de programación *R* (R Core Team, 2023) para identificar las variaciones de dichos caudales a través del tiempo. El periodo de tiempo para este análisis comprende

de enero de 2018 a octubre de 2020, que a través del Instituto Veracruzano de Acceso a la Información se obtuvo mediante la solicitud correspondiente.

b. Análisis de las percepciones y opiniones de los usuarios domésticos

Se diseñó y aplicó el cuestionario a la población que vive próxima a cuerpos de agua como ríos y arroyos en el contexto de la microcuenca del río Pixquiac.

Se codificó la información en una hoja de cálculo y posteriormente se importaron a RStudio (Posit team, 2023) para realizar un análisis utilizando el lenguaje de programación R (R Core Team, 2023).

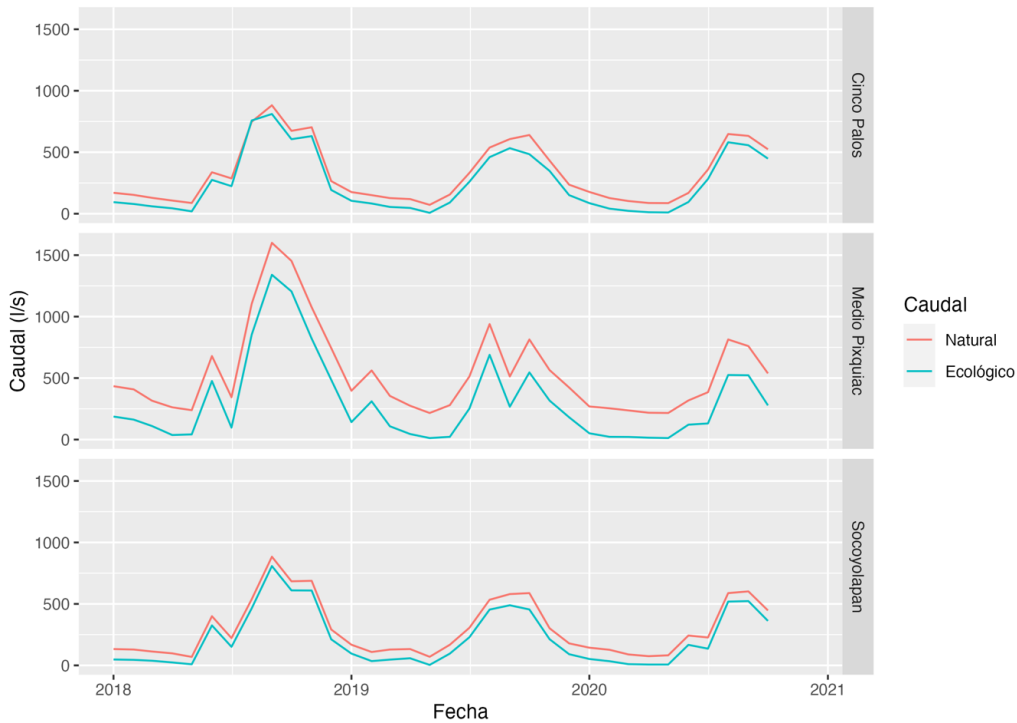
2. Resultados y discusión

2.1. Cuantitativos

2.1.1. Caudal natural y caudal ecológico

A continuación se muestran los aforos mensuales medios de los caudales naturales y antrópicos de las presas Cinco Palos, Medio Pixquiac y Socoyolapan, que se encuentran dentro de la microcuenca y sirven como fuente de abastecimiento para la ciudad de Xalapa (**Figura 3**).

Figura 3
Caudales natural y ecológico en tres presas de la microcuenca



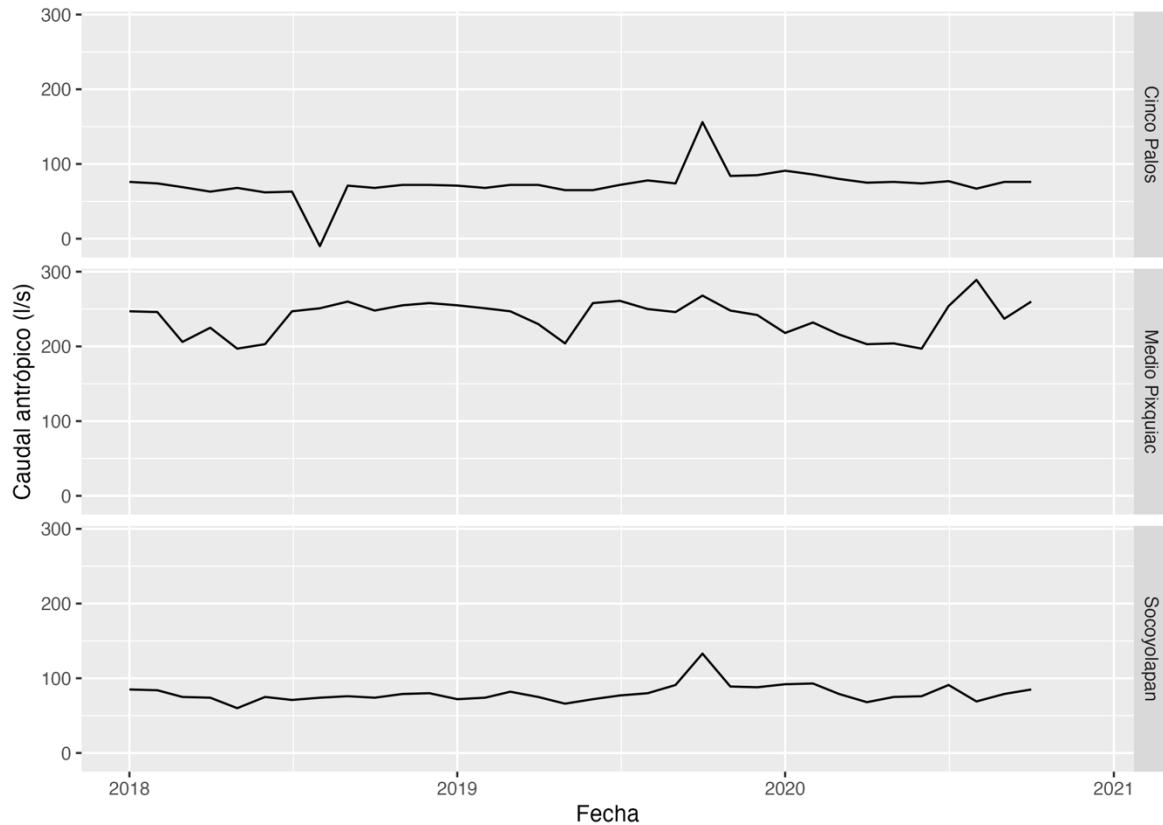
Fuente: Elaboración propia.

Los caudales natural y ecológico siguen comportamientos estacionales similares, lo que sugiere una variabilidad natural. Las notables disminuciones en los caudales son consistentes en todos los sitios, mostrando un caudal ecológico que se aproxima a 0 l/s durante los meses de estiaje.

2.1.2. Caudal antrópico

La siguiente figura muestra el comportamiento del volumen extraído por CMAS Xalapa en tres fuentes de abastecimiento de la microcuenca del río Pixquiac (**Figura 4**).

Figura 4
 Caudal antrópico en tres presas de la microcuenca



Fuente: Elaboración propia.

Los caudales antrópicos, extraídos para abastecer a la ciudad de Xalapa, se mantiene relativamente constante, lo que muestra que incluso cuando los caudales naturales disminuyen por las sequías, la Comisión de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa no disminuye el caudal antrópico, dejando a los ríos sin agua durante los puntos más críticos de los meses de estiaje.

2.2. Cualitativos (cuestionario)

2.2.1. Características socioeconómicas de la muestra

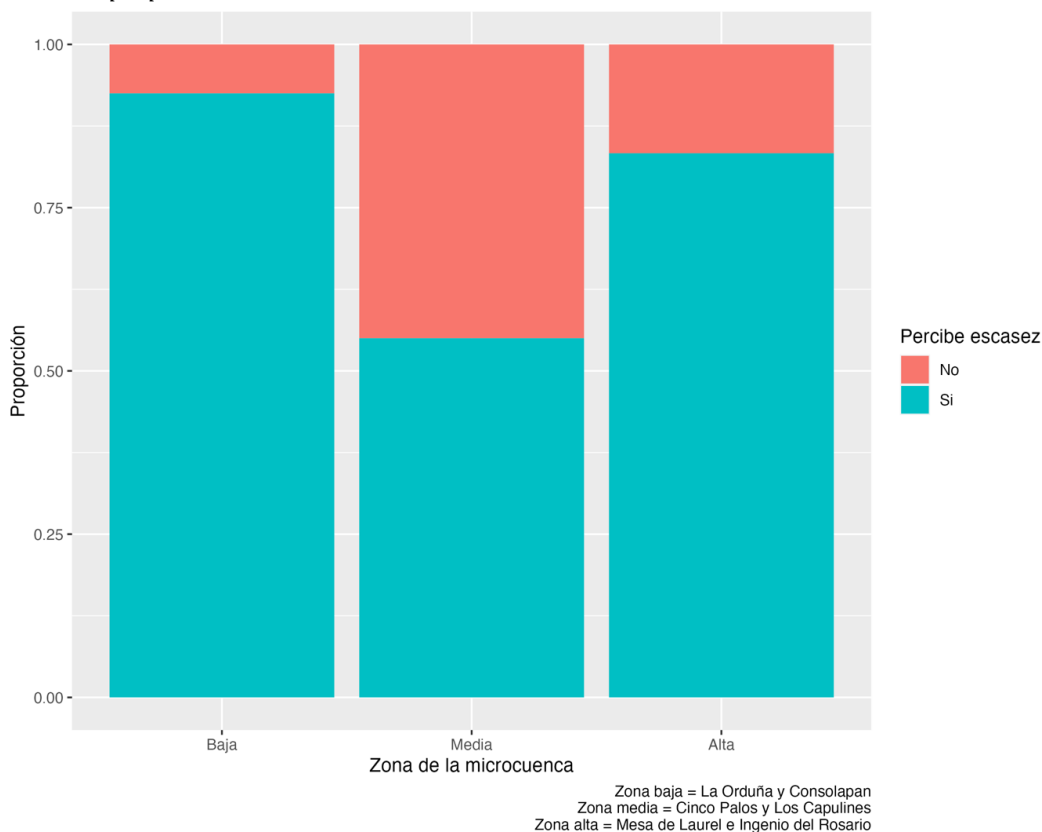
La muestra presenta una distribución etaria con una edad promedio de 48 años y una desviación estándar de 18.4, indicando una variabilidad amplia en las edades de los participantes. En cuanto a la composición por sexo, la mayoría de la muestra está constituida por mujeres, representando el 69 %, mientras que los hombres conforman el 31 %. La escolaridad predominante varía según la zona altitudinal: en la zona baja la educación secundaria completa es la que prevalece; mientras que, en las zonas media y alta, la mayoría de los individuos ha completado la educación primaria. Respecto a los ingresos económicos, el rango predominante es de \$2,500.00 pesos (MXN) mensuales a lo largo de las diferentes zonas altitudinales.

2.2.2. Percepción de escasez de agua

El 80.3 % de los usuarios domésticos de la población percibe escasez de agua en su localidad. Se observa que dicho problema es percibido por el 83.3 % en la parte alta, el 55 % en la parte media y el 92.5 % en la parte baja del área de estudio (**Figura 5**).

Figura 5

Usuarios que perciben escasez



Fuente: Elaboración propia.

En la zona media de la microcuenca del río Pixquiac, la población percibe menos escasez de agua; no obstante en las zonas media y baja la mayoría de los habitantes la perciben. Esto podría deberse a que en la zona media la precipitación es mayor que en las demás zonas y han desarrollado estrategias de gestión comunitaria del agua; mientras que en la zona alta hay una menor precipitación y las fuentes de abastecimiento se encuentran en predios particulares con acceso restringido, lo que condiciona el acceso de los usuarios al recurso; por otra parte, en la zona baja, los usuarios del agua en la localidad La Orduña dicen sufrir continuas suspensiones en el servicio de abastecimiento prestado por la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Coatepec.

2.2.3. Mes en que se percibe más escasez

Al indicar el mes en que se percibe mayor escasez de agua en sus localidades, los usuarios domésticos mencionaron al mes de mayo con mayor frecuencia, seguido por el mes de abril, lo que coincide con el periodo de estiaje. No obstante, también en las respuestas se destaca que el 10.4 % de la población percibe escasez durante todo el año (Tabla 3).

Tabla 3
 Mes con mayor escasez percibida
 por los usuarios domésticos

Mes	Porcentaje
Marzo	10.4 %
Abril	39.6 %
Mayo	81.1 %
Junio	14.1 %
Julio	1.9 %
Todo el año	10.4 %
No respondió	4.7 %

Fuente: Elaboración propia.

Con relación a la escasez permanente de agua, se señala que en la localidad de La Orduña, ubicada en la zona baja de la microcuenca, la Comisión Municipal de Agua y Saneamiento de Coatepec, suspende el servicio periódicamente durante todo el año (tandeos) e incluso cuando este se reanuda, el flujo es insuficiente en algunas áreas de la localidad.

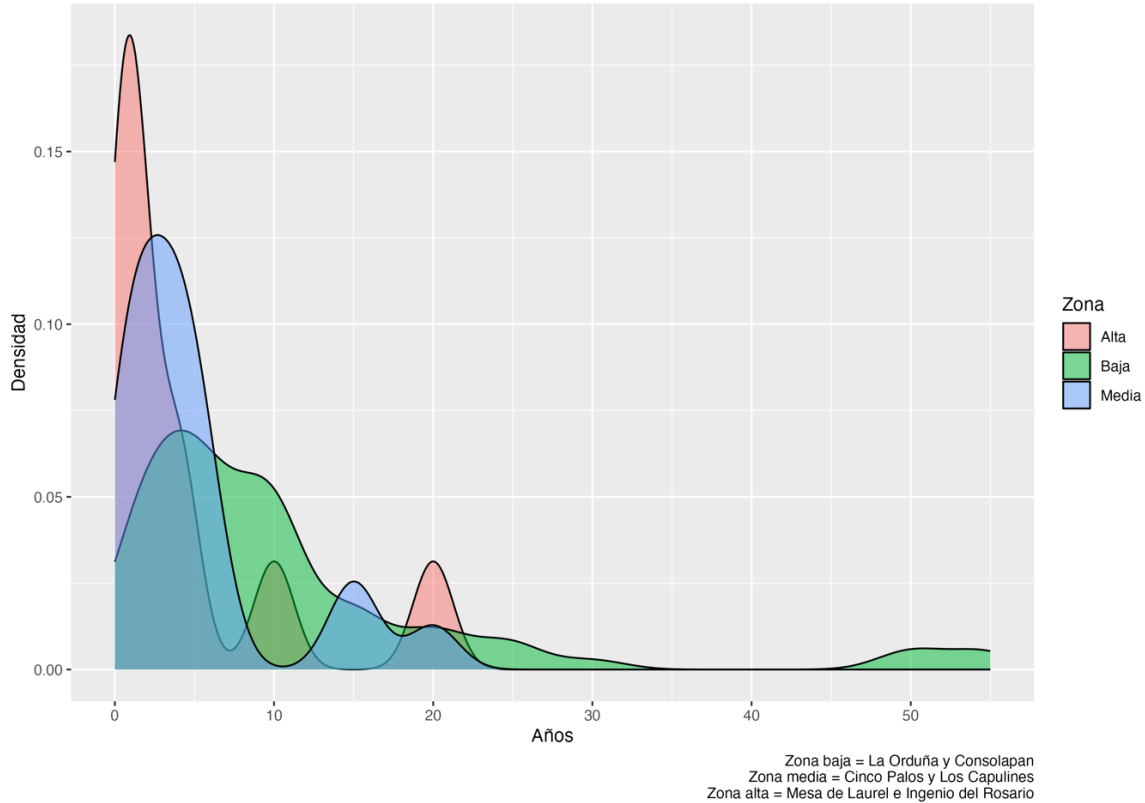
2.2.4. Tiempo durante el que se ha percibido escasez

El tiempo durante en el que los usuarios domésticos de la microcuenca del río Pixquiac, han percibido escasez del recurso hídrico en promedio es desde hace nueve años

aproximadamente; sin embargo, esto varía según las distintas zonas de la microcuenca, debido a que en la baja se ha notado desde hace once años, en la media cinco y en la alta cuatro años (**Figura 6**).

Figura 6

Tiempo percibiendo escasez



Fuente: Elaboración propia.

Los usuarios de la zona baja son los que han percibido escasez de agua en sus localidades por más tiempo, ya que han experimentado cambios significativos en la gestión del agua en sus colonias, ya que por ejemplo, las familias de La Orduña han vivido el cambio del modelo de gestión comunitaria al de un organismo operador municipal; la concesión del recurso hídrico de la región con las industrias de Coca Cola y Nestlé, disminuye significativamente la disponibilidad del agua para usos humanos en cantidad y calidad; y un proceso de cambio de uso de suelo y urbanización en su propia localidad y en localidades vecinas como Campo Viejo.

2.2.5. Opinión sobre las causas de la disminución de la disponibilidad del agua en cantidad

Las opiniones sobre las causas de disminución de la disponibilidad del agua en cantidad en las localidades de interés en la microcuenca son diversas, y corresponden a múltiples factores. Las más frecuentemente mencionadas por los usuarios son deforestación y

crecimiento de la población, seguidas de cambio climático en segundo lugar e inadecuada gestión del recurso en tercero (**Tabla 4**).

Tabla 4
Causas de disminución de cantidad de agua percibidas por los usuarios domésticos

Causa	Porcentaje
Deforestación	29.2 %
Crecimiento de la población	29.2 %
Cambio climático	17.9 %
Mala gestión	14.1 %
Contaminación	11.3 %
Desviación del caudal	3.8 %
Desperdicio	3.8%
Industria	3.8 %
Cambio de uso de suelo	2.8 %
Agricultura	0.9%
Incendios	0.9 %
Planta purificadora	0.9 %
Maldad de las personas	0.9 %

Fuente: Elaboración propia.

El crecimiento de la población y la deforestación de los bosques (eventos que pueden ser correlativos) fueron identificados como las principales causas de la disminución de la cantidad de agua disponible, por usuarios de las tres zonas estudiadas.

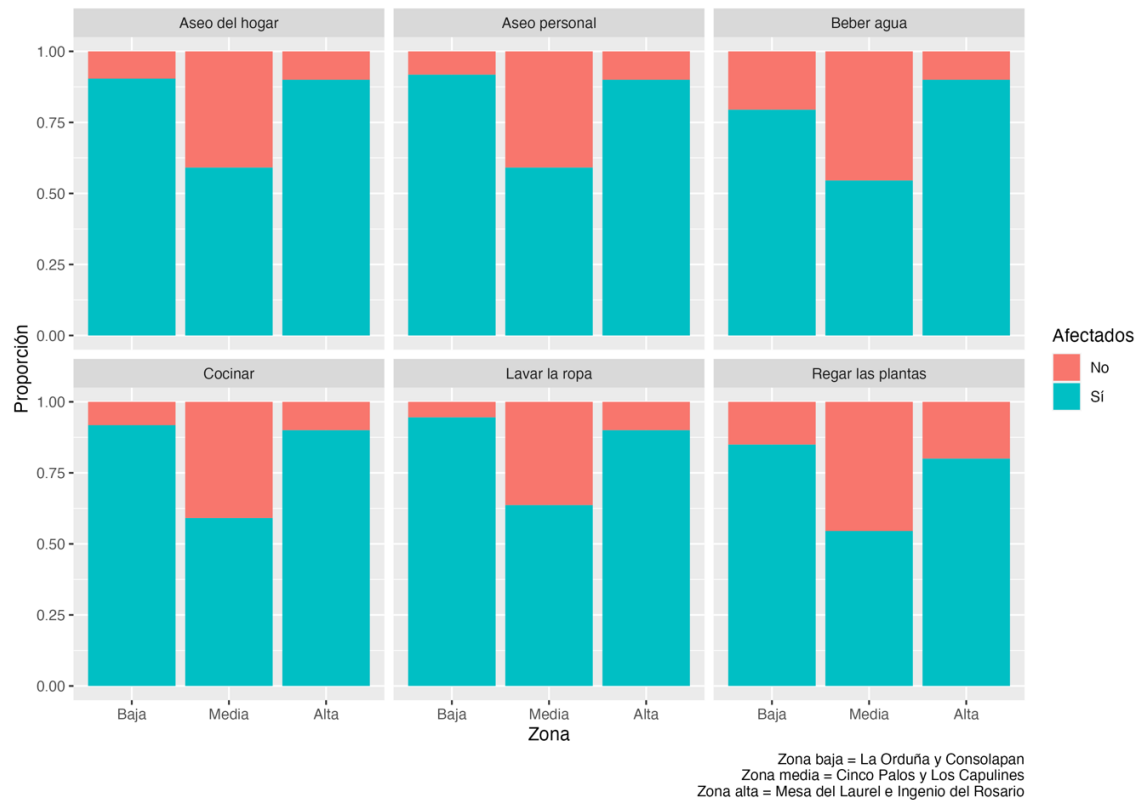
Estas opiniones son semejantes a las que emiten los habitantes de las localidades de Rancho Viejo, Seis de Enero y Consolapan de la misma microcuenca, quienes identifican como principales factores que influyen en la disminución de lluvias, al aumento en la demanda de agua, los resumideros y el desvío del cauce del río (Menchaca y Zapata, 2021). Es importante señalar que, las personas encuestadas habitan cerca de las fuentes de agua y los ecosistemas conexos a dichas fuentes, siendo testigos de los procesos de tala lícita o ilícita que modifican las funciones del sistema hidrológico, entre otros factores antrópicos.

Por otra parte, la inadecuada gestión del recurso fue mencionada principalmente en la localidad de La Orduña, la única que recibe el servicio de suministro de agua potable de CMAS Coatepec.

2.2.6. Afectaciones percibidas a causa de la disminución de agua en cantidad.

La disminución de la disponibilidad de agua en cantidad, afecta a los usuarios domésticos en distintas actividades, en mayor o menor proporción, según la zona en la que habitan y sus condiciones socioeconómicas. El aseo del hogar, el aseo personal, cocinar y lavar la ropa son las afectaciones más comunes. Además, se observa que los usuarios que perciben escasez en la zona media se ven menos afectados que los habitantes de las otras áreas territoriales de estudio (**Figura 7**).

Figura 7
Afectaciones a los usuarios por la escasez



Fuente: Elaboración propia.

La mayoría de los usuarios que perciben escasez en las zonas alta y baja se ven afectados en todos los usos domésticos del agua. Es importante destacar que, este problema incluso impacta su capacidad para satisfacer las necesidades humanas básicas, ya que los habitantes manifiestan que les falta agua para todos los usos domésticos, es decir para la cocina, baño, lavado de ropa, entre otros.

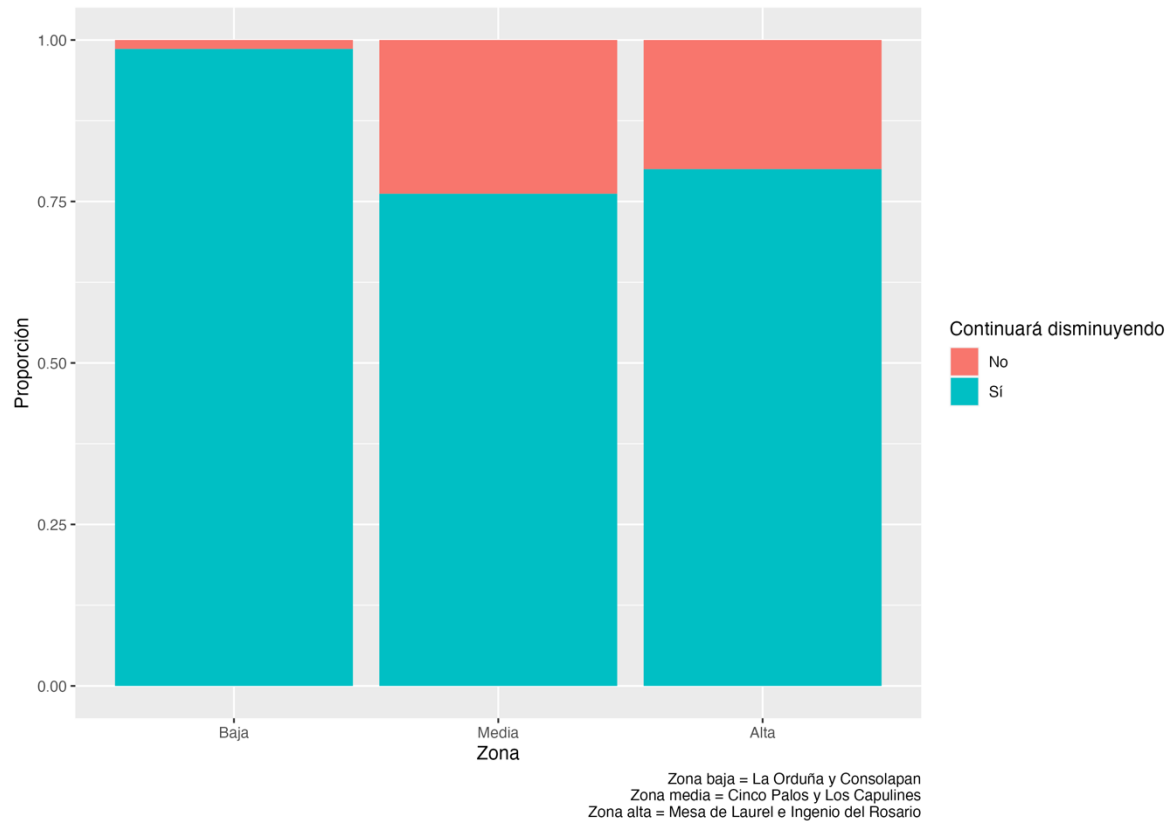
Lo anterior, impacta indirectamente en otros aspectos de sus vidas, ya que tienen gastos relacionados con la compra de agua embotellada, y se ven obligados a disminuir su economía familiar en cuanto al consumo de otros bienes y servicios.

2.2.7. Opinión sobre si la disponibilidad del agua en cantidad continuará disminuyendo

El 98.5 % de los usuarios de la zona baja, perciben escasez de agua y opinan que la cantidad disponible del recurso seguirá disminuyendo en el futuro. Lo mismo ocurre con el 76.2 % en la zona media y el 80 % en la alta (**Figura 8**).

Figura 8

Opinión de usuarios sobre disminución de la disponibilidad del agua



Fuente: Elaboración propia.

Los usuarios domésticos de la microcuenca del río Pixquiac, opinan que las afectaciones que sufren por la baja disponibilidad de agua en cantidad durante los meses de estiaje y los impactos relacionados con la salud y economía de sus familias empeorarán con el tiempo, principalmente en la zona altitudinal baja.

2.2.8. Opinión sobre los principales problemas que la disminución de la disponibilidad del agua en cantidad causaría

Las palabras más empleadas por los usuarios encuestados para describir los principales problemas que enfrentarían si continúa la disminución de la disponibilidad de agua en sus localidades (**Figura 9**).

para el uso humano, como al caudal ecológico, que es esencial para el sostenimiento de los ecosistemas, lo que indica un problema más amplio que trasciende las necesidades humanas inmediatas y afecta la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

Este panorama complejo se refleja en la percepción de escasez de agua entre los usuarios. Esta escasez es percibida con mayor intensidad en ciertos meses, evidenciando una marcada variabilidad estacional y resaltando la necesidad de una gestión integral y adaptativa del recurso hídrico (Pedrozo, 2022). Además, se observa una variabilidad significativa en la percepción sobre el estado del agua entre diferentes zonas de las cuencas y microcuencas, lo que pone de manifiesto la importancia de incorporar las percepciones ambientales en la gestión de los recursos hídricos (Aguirre *et al.*, 2017; Elenes *et al.*, 2023).

En la microcuenca del río Pixquiac, la percepción del problema de escasez de agua presenta variaciones notables entre las distintas zonas altitudinales. Mientras que en la zona baja, un elevado 92.5 % de la población percibe el problema, en la parte alta esta percepción se reduce al 83.3 %, y en la parte media, solo el 55 % de los residentes reporta esta preocupación. De acuerdo con Menchaca Dávila y Ulloa Gutiérrez (2021), esta disparidad en la percepción se extiende a localidades específicas, como Rancho Viejo, donde el 90 % de la población reconoce la escasez de agua, al igual que la totalidad de los habitantes de Seis de Enero y Consolapan. Estos datos enfatizan la heterogeneidad en la percepción de la crisis hídrica dentro de la misma región, subrayando la necesidad de un enfoque diferenciado en la gestión de los recursos hídricos.

La comprensión de las causas de la disminución de la disponibilidad del agua en la microcuenca, identificadas por los usuarios como una combinación de factores naturales y antrópicos, apunta hacia la necesidad de estrategia de mitigación y gestión integral del recurso eficientes e informadas. Esta comprensión se ve acompañada de una creciente preocupación por la posibilidad de que la tendencia de disminución en la disponibilidad del agua se mantenga, lo que enfatiza la necesidad de políticas públicas a largo plazo.

Las consecuencias de la disminución de la disponibilidad del agua se extienden más allá de las limitaciones inmediatas en el uso doméstico y agrícola, afectando la calidad de vida y planteando desafíos económicos significativos. Esta gama de impactos destaca la urgencia de acciones para asegurar la sostenibilidad del recurso hídrico. Los usuarios, al anticipar problemas adicionales derivados de una continua disminución de la disponibilidad de agua, como conflictos por el recurso, deterioro de la salud y bienestar, y desafíos económicos, subrayan aún más la importancia de una gestión integral del agua que contemple tanto las necesidades presentes como futuras (Barreto *et al.*, 2019; Hoekstra *et al.*, 2012; Ma *et al.*, 2020). En la microcuenca del río Pixquiac la escasez de agua ha afectado prácticamente todas las actividades domésticas de usuarios; principalmente el aseo del hogar, el aseo personal y el lavado de ropa; además, los usuarios opinan que la disminución en la disponibilidad del agua para usos humanos afectará su bienestar físico y económico en los próximos años. A pesar de esto y de acuerdo con Menchaca Dávila *et al.* (2023), en la zona baja de la microcuenca, los usuarios de la congregación de Zoncuantla no hacen un uso racional del recurso porque no tienen los hábitos y costumbres que permitan hacer un uso eficiente de este, es decir,

que carecen de una eficiente cultura del agua, situación que podría presentarse en el resto de las localidades.

En síntesis, los hallazgos del estudio enfatizan la complejidad de la escasez de agua en la microcuenca del río Pixquiac. La interacción entre factores naturales y antrópicos en la dinámica del agua exige un enfoque interdisciplinario en su gestión y conservación. La situación demanda medidas que no solo aborden la escasez actual, sino que también establezcan una base para la sostenibilidad y equidad en el acceso y uso del agua en la región en el futuro.

4. Conclusiones

Con el objetivo de analizar la problemática de la disminución en la disponibilidad de agua en cantidad para uso doméstico en la microcuenca del río Pixquiac, el estudio muestra que el caudal ecológico en los ríos de la microcuenca disminuye gravemente durante la temporada de estiaje, alcanzado 0 l/s, durante los últimos años. Tanto las mediciones del caudal antrópico, aprovechado para abastecer de agua a la ciudad de Xalapa como las opiniones de los usuarios del agua indican que tanto factores antrópicos como climáticos en la baja disponibilidad de agua. En específico, los usuarios opinan que las principales causas del problema son la creciente demanda del recurso hídrico y el deterioro de los ecosistemas conexos a los cuerpos de agua.

Esta información, aunada a las preocupaciones que los usuarios del agua muestran respecto a las consecuencias de la escasez de agua percibida, es indispensable para el diseño de políticas públicas locales que permitan mitigar los impactos que la problemática del agua en la microcuenca causa sobre las personas y los ecosistemas. En este sentido, se recomienda desarrollar estrategias que incentiven a los diversos usuarios a hacer un uso racional del agua, principalmente durante la temporada de estiaje, para asegurar que los caudales naturales que escurren en los cuerpos de agua sean suficiente para satisfacer las necesidades de las poblaciones humanas y sostener las funciones y los servicios de los ecosistemas, indispensables para el desarrollo de la vida en todas sus formas.

Los resultados resaltan la importancia del monitoreo continuo de los caudales de todos los cuerpos de agua de la región, ya que solo se mide los que abastecen a la población de Xalapa y a la región, y de la percepción y opinión de la población como indicadores relacionados con la problemática de la disponibilidad de agua. Lo anterior, permitirá a largo plazo realizar estudios longitudinales para identificar tendencias de la disponibilidad del recurso hídrico en cantidad y calidad. Además, se recomienda incrementar los esfuerzos de monitoreo para conocer la variación de los caudales a lo largo de los cauces de ríos y arroyos en las diferentes zonas altitudinales de la microcuenca, para identificar el impacto y afectaciones que tienen los diferentes usos (doméstico, agrícola, pecuario, acuicultura, industrial, etc.) y prever las tendencias, lo que podría permitir adecuar los modelos de gestión de los recursos hídricos de la región.

Referencias

- Aguirre, M., Ibarra, L., Trochez, F., Guevara, D. y Bermúdez, O.** (2017). Percepción Del Paisaje, Agua Y Ecosistemas en La Cuenca Del Río Dagua, Valle Del Cauca, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 22(1). <https://doi.org/10.19053/01233769.5402>
- Árias, J.** (20017). ¿QUÉ SON LOS ESTUDIOS DE OPINIÓN? Un extracto elaborado por Jorge Árias López. <https://sociologiaext.wordpress.com/2007/09/25/¿que-son-los-estudios-de-opinion-un-extracto-elaborado-por-jorge-arias-lopez/>
- Barreto, C., Rodrigues, R. y Drummond, J.** (2019). Geospatial Analysis of Water Uses and Potential Conflicts in the Microregion of Ceres, Goiás, Brazil. *Sustainability in Debate*, 10(3), 22-27. <https://doi.org/10.18472/sustdeb.v10n3.2019.24406>
- Bei, E., Wu, X., Qiu, Y., Chen, C. y Zhang, X.** (2019). A Tale of Two Water Supplies in China: Finding Practical Solutions to Urban and Rural Water Supply Problems. *Accounts of Chemical Research*, 52(4), 867–875.
- Boelens, R., Vos, J. y Perreault, T.** (2018). Introduction: The multiple challenges and layers of water justice struggles. En *Water Justice*, 1–32. <https://doi.org/10.1017/9781316831847.001>
- Bravo, M., Bravo, M. y Covarrubias, P.** (2019). Una revisión del enfoque ecológico de Gibson sobre percepción visual. *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*, 45(2), 261–273.
- Chakkaravarthy, D.** (2019). Water Scarcity- Challenging the Future. *International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology*, 12(3).
- Christian, J., Basara, J., Hunt, E., Otkin, J., Furtado, J., Mishra, V., Xiao, X. y Randall, R.** (2021). *Global distribution, trends, and drivers of flash drought occurrence*. <https://doi.org/10.1038/S41467-021-26692-Z>
- da Silva, T., de Almeida, J. y da Silva, R.** (2020). The Role of Local Perceptions in Environmental Diagnosis. *Participatory Biodiversity Conservation*, 151–163.
- du Plessis, A.** (2017). South Africas Water Availability and Use. *Freshwater Challenges of South Africa and its Upper Vaal River*, 65–76.
- Elenes, J., Escobar, R. y Urbano, P.** (2023). La Gestión De Los Recursos Hídricos en El Municipio De Culiacán, Sinaloa, México. En *Revistas Cuadernos De Trabajo De Estudios Regionales en Economía Población Y Desarrollo*. <https://doi.org/10.20983/epd.2023.73.1>
- Elwell, T., Gelcich, S., Gaines, S. y López-Carr, D.** (2018). Using people’s perceptions of ecosystem services to guide modeling and management efforts. *Science of The Total Environment*, 637–638, 1014–1025.
- Freitas, M., Macedo, R., Freitas, M., Nunes, C. y Venturin, N.** (2014). Environmental Perception as a Diagnostic Probe of Environmental Complexity Levels. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 21(2), 149–158.
- Gleick, P. y Cooley, H.** (2021). Freshwater Scarcity. *Annual Review of Environment and Resources*, 46(1), 319–348.
- Gude, V. G.** (2017). Desalination and water reuse to address global water scarcity. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 16(4), 591–609.

- Herrera-Pantoja, M. y Hiscock, K. (2015).** Projected impacts of climate change on water availability indicators in a semi-arid region of central Mexico. *Environmental Science & Policy*, 54, 81–89.
- Hoekstra, A., Mekonnen, M., Chapagain, A., Mathews, R. y Richter, B. (2012).** Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints Versus Blue Water Availability. *Plos One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032688>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020).** *Censo de Población y Vivienda 2020*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/632>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2023).** *Marco Geoestadístico Integrado*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#descargas>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2024).** *Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas*. https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/
- Khilchevskiy, V. K., Oliynyk, Ya. B., & Zatserkovnyi, V. I. (2020).** Global problems of water resources scarcity. *XIV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*.
- Ma, T., Sun, S., Fu, G., Hall, J. W., Ni, Y., He, L., Yi, J., Zhao, N., Du, Y., Pei, T., Cheng, W., Ci, S., Fang, C. y Zhou, C. (2020).** Pollution Exacerbates China's Water Scarcity and Its Regional Inequality. *Nature Communications*. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14532-5>
- Madani, K., AghaKouchak, A. y Mirchi, A. (2016).** Irans Socio-economic Drought: Challenges of a Water-Bankrupt Nation. *Iranian Studies*, 49(6), 997–1016.
- Martinez, S., Kralisch, S., Escolero, O. y Perevochtchikova, M. (2015).** Vulnerability of Mexico City's water supply sources in the context of climate change. *Journal of Water and Climate Change*, 6(3), 518–533.
- Menchaca, S., Calva, A., Jiménez, G. y Juárez-Cerrillo, S. (2023).** Uso racional del agua doméstica en la comunidad de Zoncuantla, Coatepec, Veracruz. *UVserva*, 15, 125–141. <https://doi.org/10.25009/uvs.vi15.2920>
- Menchaca, S., Calva-Maldonado, A., Jiménez-Windsor, G. y Juárez-Cerrillo, S. (2022).** Disponibilidad hídrica del manantial "Ojo de Agua" ubicado en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz, México. *UVserva*, 14, 9–20. <https://doi.org/10.25009/uvs.vi14.2890>
- Menchaca, S. y Ulloa, V. (2021).** Problemática sobre la disponibilidad del agua en el periodo de estiaje del río Pixquiac, Veracruz. *UVServa*, 224–243.
- Menchaca, S. y Zapata, K. (2021).** Percepción comunitaria sobre el agua en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz. *UVserva*, 11, 77–92. <https://doi.org/10.25009/uvs.v0i11.2776>
- Oswald, Ú. (2014).** Managing Water Resources in Mexico in the Context of Climate Change. En *Managing Water Resources under Climate Uncertainty*, 377–403.
- Otazo-Sánchez, E., Navarro-Frómata, A. y Singh, V. (Eds.). (2020).** *Water Availability and Management in Mexico*. Springer International Publishing.
- Othman, F., Heydari, M., Sadeghian, M., Rashidi, M. y Shahiri persa, M. (2015).** The Necessity Of Systematic And Integrated Approach In Water Resources Problems And Evaluation Methods, A Review. *Zenodo*.

- Padder, F. y Bashir, A.** (2023). SCARCITY OF WATER IN THE TWENTY-FIRST CENTURY: PROBLEMS AND POTENTIAL REMEDIES. *MEDALION JOURNAL: Medical Research, Nursing, Health and Midwife Participation*, 4, 1–5. <https://doi.org/10.59733/medalion.v4i1.66>
- Padrón, R., Gudmundsson, L., Decharme, B., Ducharne, A., Lawrence, D. M., Mao, J., Peano, D., Krinner, G., Kim, H. y Seneviratne, S.** (2020). Observed changes in dry-season water availability attributed to human-induced climate change. *Nature Geoscience*. <https://doi.org/10.1038/S41561-020-0594-1>
- Pedrozo, A.** (2022). Escasez de agua, disponibilidad y agricultura. *Perspectivas IMTA*, 3(22).
- Posit team.** (2023). *RStudio: Integrated Development Environment for R*. <http://www.posit.co/>
- R Core Team.** (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. <https://www.R-project.org/>
- Ramirez-Sanchez, H., Ulises, H., Montiel, F., Lucia, A., Bañuelos, O., Ortiz-Bañuelos's, A. y Odila, T.** (2022). Impacts of Climate Change on the Water Sector in Mexico. *Asian Journal of Environment & Ecology*, 17, 37–57. <https://doi.org/10.9734/AJEE/2022/v17i230289>
- Schultz, P., Shriver, C., Tabanico, J., y Khazian, A.** (2004). Implicit Connections With Nature. *Journal of Environmental Psychology*, 24(1), 31-42. [https://doi.org/10.1016/s0272-4944\(03\)00022-7](https://doi.org/10.1016/s0272-4944(03)00022-7)
- Shandas, V., Lehman, R., Larson, K., Bunn, J. y Chang, H.** (2015). Stressors and Strategies for Managing Urban Water Scarcity: Perspectives from the Field. *Water*, 7(12), 6775–6787.
- Tábara, D. y Pardos, S.** (2006). El estudio de la percepción social del medio ambiente. En M. Di Masso y D. Tábara (Eds.), *Opinión pública y medio ambiente* (1a ed., Vol. 1, pp. 1–1). Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals.
- Tundisi, J., Matsumura-Tundisi, T., Ciminelli, V. y Barbosa, F.** (2015). Water availability, water quality water governance: the future ahead. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 366, 75–79.
- Wada, Y., Gleeson, T. y Esnault, L.** (2014). Wedge approach to water stress. *Nature Geoscience*, 7(9), 615–617.