

Extracción de agua del río Pixquiac a partir de la presa derivadora Medio Pixquiac

Extraction of water from the Pixquiac River by the Medio Pixquiac diversion dam

Carlos Manuel Lezama-Alcocer ^a | Itzel Yolotzin Hernández-Portilla ^b
Eduardo Aranda-Delgado ^c

Recibido: 3 de agosto de 2023.

Aceptado: 22 de febrero de 2024.

^a Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana. Xalapa, México. Contacto: lezamacarlos22@gmail.com | ORCID: 0000-0002-6852-2855 *Autor para correspondencia.

^b Amigos del Río Pixquiac – Global Water Watch México. Xalapa, México. Contacto: Yolotzinportilla@gmail.com | ORCID: 0000-0003-4447-3080

^c Amigos del Río Pixquiac – Global Water Watch. Xalapa, México. Contacto: Eduardoarandad@gmail.com

Cómo citar:

Lezama-Alcocer, C., Hernández-Portilla, I. y Aranda-Delgado, E. (2024). Extracción de agua del río Pixquiac a partir de la presa derivadora Medio Pixquiac. *UVserva*, (17), 229-238. <https://doi.org/10.25009/uvs.vi17.2963>

Resumen: Desde la parte media del río Pixquiac se deriva agua con sentido a la ciudad de Xalapa (asignación de 250 l/s), lo que ocasiona que el río en distintas temporadas del año disminuya su caudal hasta desaparecer. Para orientar acciones enfocadas a resolver problemas en torno a la disponibilidad de agua en el río Pixquiac, es fundamental abordar aspectos como la extracción de agua del río por parte de la Presa Medio Pixquiac. Ante ello el presente trabajo tiene como objetivo estudiar, a partir de siete campañas de medición en campo y registros fotográficos, entre octubre 2021 a julio 2023, la extracción de agua por parte de la presa derivadora Medio Pixquiac. Los resultados muestran que al menos durante siete meses (mayo 2022 y de enero 2023 a jun 2023) del periodo de estudio, la presa extrajo la totalidad del volumen de agua del río. Dicha situación, que inmediatamente después de la presa seca el río Pixquiac hasta desaparecer, es evidente y se agudiza conforme avanza la temporada seca (nov-abr), comprometiendo no solo el bienestar de las personas que se benefician del agua del río, sino también de los ecosistemas que dependen de él. Por lo tanto, se recomienda revisar la asignación otorgada considerando la disponibilidad de agua del río a fin de evitar la extracción total de su agua. También se sugiere estudiar otros aspectos que pueden estar incidiendo en la disminución del caudal del río desde antes de la presa, por ejemplo; aumento de extracciones de agua y cambios en los patrones de lluvia e escurrimiento de la cuenca.

Palabras clave: Agua; extracción; presa derivadora.

Abstract: *From the middle part of the Pixquiac River, water is diverted to the city of Xalapa (allocation of 250 l/s), which causes the river to decrease its flow at different times of the year until it disappears. To guide actions focused on solving problems around the availability of water in the Pixquiac River, it is essential to address aspects such as the extraction of water from the river by the Medio Pixquiac Dam. Given this, the objective of this work is to study, based on seven field measurement campaigns and photographic records, between October 2021 and July 2023, the extraction of water by the Medio Pixquiac diversion dam. The results show that for at least seven months (May 2022 and January 2023 to June 2023) of the study period, the dam extracted the entire volume of water from the river. This situation, which immediately after the dam dries the Pixquiac River to the point of disappearing, is evident and worsens as the dry season progresses (Nov-Apr), compromising not only the well-being of the people who benefit from the river's water, but also of the ecosystems that depend on it. Therefore, it is recommended to review the allocation granted considering the availability of river water in order to avoid total extraction of its water. It is also suggested to study other aspects that could be influencing the decrease in the river's flow since before the dam, for example; increase in water withdrawals and changes in rainfall and runoff patterns in the basin.*

Keywords: *Water; Excessive; Diversion Dam.*

1. Introducción

Los ríos de la cuenca río Pixquiac proveen 38 % del agua suministrada ($\sim 55.5 \times 10^6$ m^3 /año) al municipio de Xalapa, Veracruz, México (Shinbrot *et al.*, 2020), 488,531 habitantes (INEGI, 2020). El volumen de agua suministrada proviene de cuatro presas derivadoras denominadas; Medio Pixquiac (250 L/s), Alto Pixquiac (250 L/s), Xocoyolapa (100 L/s) y Cinco Palos (100 L/s) (Paré y Gerez, 2012; CMAS-Xalapa, 2022). Las presas son operadas por la Comisión Municipal de Agua y Saneamiento – Xalapa (CMAS-Xalapa). Además, dentro de la cuenca se encuentran asentadas 64 localidades que albergan a 8 100 habitantes e industrias, las cuales también se benefician del agua que proveen los ríos (INEGI, 2020).

No obstante, la disponibilidad de agua en los ríos de la cuenca río Pixquiac se encuentran cada vez más amenazada por múltiples extracciones de agua, variabilidad climática, cambios en el uso de suelo, aumentos en la población y poco entendimiento de su funcionamiento hidrológico (Paré y Gerez, 2012; López-Hernández, 2019; Ulloa-Gutiérrez, 2021; Lezama-Alcocer *et al.*, 2023). Lo anterior deriva en que el río Pixquiac, río principal de la cuenca río Pixquiac, se encuentre completamente seco durante distintas temporadas del año, situación evidente en el periodo de estudio del presente trabajo.

Para orientar acciones enfocadas a resolver problemas en torno a la disponibilidad de agua en los ríos de la cuenca Río Pixquiac, es fundamental estudiar aspectos como la extracción de agua. Ante ello, el presente estudio tiene como objetivo cuantificar, a partir de siete campañas de medición en campo empleando el método de aforo por dilución de sales en el río y registros fotográficos entre octubre 2021 a julio 2023, la extracción de agua por parte de la presa derivadora Medio Pixquiac. Dicha presa derivadora, terminada desde el año 1943 se ubica en la parte media del río Pixquiac, es operada por la CMAS-Xalapa y cuenta con una asignación para derivar 250 l/s, otorgada por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). Sin embargo el organismo operador no realiza mediciones del caudal del río a la altura de la presa, lo cual es fundamental para conocer la disponibilidad de agua.

La relevancia del presente trabajo radica en que a pesar de que investigaciones sugieren estudiar los efectos de la presas derivadoras sobre el caudal del Río Pixquiac (López-Hernández, 2019), hasta el momento no se había realizado estudio alguno. Además, es de resaltar la facilidad de ejecución del método de aforo empleado en la medición del caudal, sin necesidad de recurrir a instrumentos automatizados o inaccesibles debido a sus altos costos.

2. Objetivos

Objetivo general

Cuantificar la extracción de agua del río Pixquiac a la altura de la presa derivadora Medio Pixquiac, a partir de siete campañas de medición empleando el método de aforo por dilución de sales y registros fotográficos durante el periodo octubre 2021 a julio 2023.

Objetivos Particulares

- Determinar en cada una de las siete campañas de medición, por medio de aforos por dilución de sales en el río antes y después de la presa derivadora Medio Pixquiac, la cantidad de agua extraída.
- Identificar, a través de registros fotográficos, los momentos en que inmediatamente después de la presa Medio Pixquiac no se observó flujo de agua en el cauce del río.

3. Métodos

3.1. Sobre el sitio de estudio

La cuenca río Pixquiac se ubica en la parte alta de la cuenca río La Antigua, en la ladera de barlovento del volcán Cofre de Perote, región de bosque mesófilo de montaña, centro del Estado de Veracruz, México, al oeste de la ciudad de Xalapa.

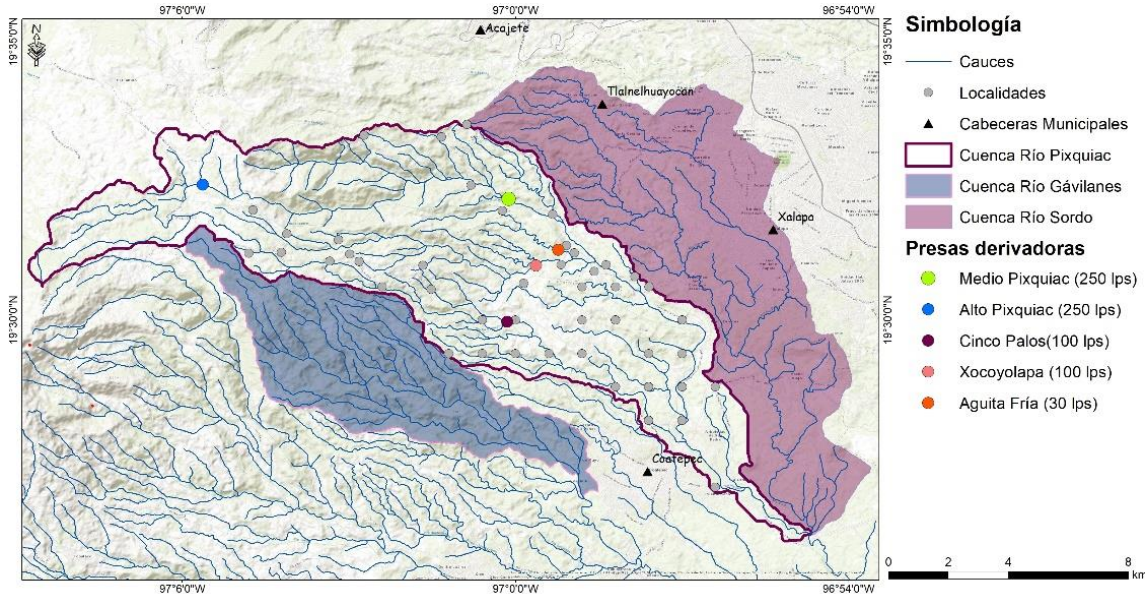
La cuenca tiene un área de 107 km², va desde los 1,040 hasta los 3,760 m s. n. m. (Paré y Gerez, 2012). El principal afluente es el río Pixquiac, río perenne de cuarto orden con longitud de 30.3 km y caudal promedio en su salida de 1.06 x 10⁸ m³/año (López-Hernández, 2019). Sobre el caudal del río Pixquiac a la altura de la presa no se encontró información.

En el río Pixquiac se encuentran dos de las cuatro presas derivadoras emplazadas en la cuenca río Pixquiac, conocidas como Alto Pixquiac y Medio Pixquiac. La primera en la parte alta del río (19°32'24.53"N, 97° 5'55.57"O, 2952 m s. n. m.), colecta agua de algunos manantiales de la zona (asignación de 250 L/s) que posteriormente deriva con sentido a la ciudad de Xalapa.

Aguas abajo, en la parte media del río (19°32'10.70"N, 97°00'07.47"O, 1569 m s. n. m.), se encuentra la presa Medio Pixquiac que también extrae y deriva agua (asignación de 250 L/s) con sentido a la ciudad de Xalapa, y sobre la cual se enfoca el presente estudio (**Figura 1**).

Importante contextualizar que debido a la insuficiencia del servicio de agua de la ciudad de Xalapa, llegado el año de 1940, el gobierno del estado comenzó a destinar recursos para su mejoramiento.

Figura 1
Presas derivadoras, cauces y localidades en la cuenca río Pixquiac



Fuente: Elaborado a partir de datos de Modelos de Elevación Digital, Censo Poblacional y de Vivienda 2020, Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], así como datos tomados en campo.

Por lo tanto, con el objetivo de extraer, derivar y conducir agua potable a la ciudad (250 L/s), se realizaron obras como la presa Medio Pixquiac (**Figura 2**), las obras se anuncian terminadas en el año 1943. En el año 1955, se decreta para la cuenca Río Pixquiac veda por tiempo indefinido, el objetivo es garantizar el abastecimiento de agua a la ciudad de Xalapa, condicionando el uso a actividades domésticas y públicas urbanas.

Figura 2
Presa derivadora Medio Pixquiac y sus características



Fuente: Fotografías tomas durante campañas de medición.

No está de más señalar que en la región de estudio el clima se clasifica como templado húmedo con abundantes lluvias en verano, esto ocasiona que el 80 % de la precipitación anual y máxima recarga de agua ocurra durante la estación húmeda

(Mayo-Oct) (Muñoz-Villers y McDonnell, 2013). La precipitación anual acumulada varía con la elevación, va de los 1,120 hasta los 3,185 mm, la temperatura media diaria entre 5° y 19° C, y la evapotranspiración media anual entre 855 y 1,215 mm (Holwerda *et al.* 2010).

3.2 Campañas de medición

Con el objetivo de cuantificar la cantidad de agua extraída por la presa Medio Pixquiac, en cada una de las siete campañas de medición se determinó el caudal (volumen de agua por unidad de tiempo) del río Pixquiac antes y después de la presa derivadora. Por campaña se realizaron tres aforos (medición del caudal del río) antes de la presa y tres aforos después. Los valores de los tres aforos antes de la presa son promediados con la finalidad de conocer el caudal del río previo a la presa, lo mismo se realiza para los aforos después de la presa. En tanto, la cantidad de agua extraída se obtiene restándole al caudal del río antes de la presa el caudal río después de la presa.

3.3 Aforando el río

Los aforos se realizan usando la técnica de trazador por dilución sales en río propuesta por, adecuada para aforar ríos con las características del río Pixquiac; ríos de montaña con cauce irregular, turbulentos y pronunciadas pendientes. El método consiste en verter en el río un volumen controlado de solución salina (1 kg de sal de mesa por cada 5 litros de agua) y medir cauce a bajo, a través de registros de conductividad eléctrica en el río, el paso de la nube de sal. La cantidad de solución vertida está en función de la cantidad de agua en el río, autores consideran adecuado al volumen necesario para que la conductividad eléctrica máxima registrada en el río, una vez vertida la solución, sobrepase al menos en un 50 % al valor de la conductividad eléctrica inicial. Para cada uno de los aforos de este trabajo se emplearon 15 litros de solución salina.

Aunado, para un registro adecuado del paso de la nube de sal en el río, es necesario que la solución se vierta a una distancia de entre 10 y 15 veces el ancho del cauce a la altura de donde se registra la conductividad eléctrica del río. Para fines de este trabajo, dado que el ancho del cauce en donde se mide la conductividad eléctrica fue en promedio de 5 metros, la solución se vierte 50 metros aguas arriba del punto de medición. Los valores de conductividad eléctrica del río se obtienen con un multiparamétrico marca Hanna, modelo H91100, a frecuencia de 5 segundos y unidades de microsiemens (μS).

La ecuación 1 (Ec 1), detalla los valores y la obtención del gasto a partir de las mediciones de conductividad eléctrica y volumen de solución salina vertida, Q es el caudal del río, V el volumen de solución salida vertida, EC la conductividad eléctrica del río en el tiempo t , Δt frecuencia de medición (5 segundos), EC_{base} la conductividad eléctrica del cauce antes de verter la solución y k una constante de calibración en condiciones controladas. Se debe remarcar que los efectos de inyección de la solución salina son menores a los umbrales asociados a procesos nocivos sobre organismo y tienen poco impacto a largo plazo.

$$Q = \frac{V}{K\Delta t \Sigma [EC(t) - EC_{base}]} \dots\dots\dots Ec (1)$$

Seis de las siete campañas de medición se realizaron en la temporada seca (noviembre-mayo) y solo una durante la temporada húmeda (junio-octubre). Lo anterior debido a que en visitas previas al periodo de estudio se observó que durante la temporada seca es cuando absolutamente toda el agua del río Pixquiac, a la altura de la presa Medio Pixquiac, es extraído.

3.4 Registro fotográfico y periodos de extracción absoluta del agua del río

En búsqueda de identificar cuando inmediatamente después de la presa Medio Pixquiac el cauce del río Pixquiac no lleva agua, se registran de manera fotográfica los momentos en los que no se observa flujo de agua después de la presa. Los registros están en función de la accesibilidad al cauce, disponibilidad de tiempo y recursos. La labor fue complementada con registros fotográficos en las campañas de medición.

A partir de aquellos registros fotográficos que no muestran flujo de agua en el cauce del río y de los aforos realizados en las campañas de medición, se establecen los periodos en los que la presa Medio Pixquiac extrajo absolutamente toda el agua del río. Se considera como inicio del periodo de extracción total del agua del río el momento a partir del cual no se observa flujo de agua después de la presa, y como final del periodo el momento en el que se vuelve a tener registro de flujo de agua inmediatamente después de la presa.

4. Resultados

De acuerdo a los resultados de las siete campañas de medición en campo, se demuestra que en cuatro de ellas (14-may-2022, 22-ene-2023, 05-may-2023 y 15-abr-2023), la presa Medio Pixquiac extrajo absolutamente toda el agua del río Pixquiac. Incluso durante dichas campañas se observa que, a excepción de enero 2023, ni siquiera alcanza a extraer el gasto asignado de 250 l/s. De resaltarse que cuando se extrajo el total del agua del río, la cantidad de agua antes de la presa no superaba los 275 l/s, considerado umbral mínimo para que después de la presa el cauce del río lleve agua. En las tres campañas restantes se observa flujo después de la presa y la cantidad de agua extraída fue en promedio de 264⁺ 13 L/s (**Tabla 1**), muy cercano al gasto asignado (250 l/s).

Tabla 1
 Cantidad de agua extraída por la presa derivadora Medio Pixquiac

Fecha de campaña	Antes de la presa (l/s)	Después de la presa (l/s)	Cantidad de agua extraída (L/s)
03-oct-2021	1396.6	1129.58	267.02
19-dic-2021	451.56	175.24	276.32

14-may-2022	196.84	0	196.84
13-nov-2022	566	316	250.00
24-ene-2023	275.33	0	275.33
05-mar-2023	208.56	0	208.56
15-abr-2023	169.89	0	169.89

Fuente: Resultados obtenidos durante campañas de medición en campo.

Los registros fotográficos muestran que durante el mes de mayo 2022 no se observó flujo de agua después de la presa Medio Pixquiaco, situación que coincide con lo registrado en la campaña de medición del mismo mes. No obstante en el año 2023, desde finales del mes de enero y hasta finales de junio (6 meses), tampoco se registró flujo de agua después de la presa (**Figura 3**). Sin embargo existieron aumentos esporádicos del caudal del río asociados a eventos de lluvia, provocando que súbitamente el caudal se incrementara permitiendo flujo de agua después de la presa. También se observó que producto de la alta carga de sedimentos durante aumentos súbitos del caudal del río, la extracción y derivación de la presa se detiene para evitar el colapso del sistema.

Figura 3

Algunos momentos en lo que se observó, o no, flujo a la altura de la presa



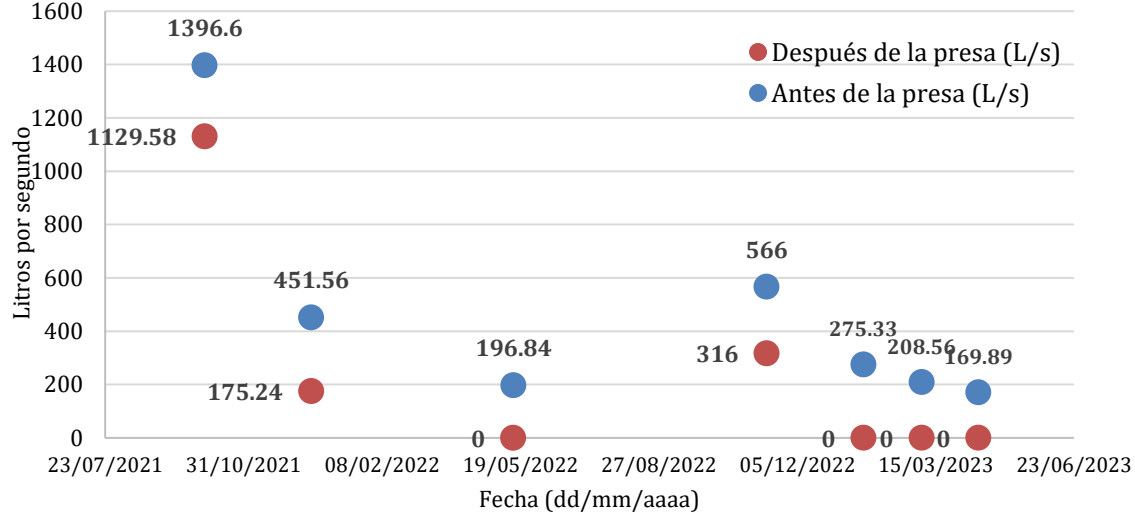
Fuente: Fotografías proporcionadas por pobladores de la zona y durante campañas de medición.

De acuerdo a los resultados de los aforos realizados durante las campañas de medición y los registros fotográficos, al menos desde el 22 de enero del 2023 y hasta el 25 de junio del 2023, 6 meses, la presa extrajo absolutamente toda el agua del río. La situación anterior también se observa durante el mes de mayo 2022. Además se muestra, respecto a las campañas de medición de enero 2023 a abril 2023, que el caudal

antes de la presa decreció sostenidamente de 275 l/s a 169.89 l/s, ocasionando que la mayoría de ese periodo ni siquiera se alcanzó a extraer el caudal asignado (250 l/s) (Figura 4).

Figura 4

Cantidad de agua antes y después de la presa derivadora Medio Pixquiac



Fuente: Resultados obtenidos durante campañas de medición.

5. Conclusiones

Al menos durante siete meses (mayo 2022 y de enero 2023 a jun 2023) del periodo de estudio, la presa Medio Pixquiac extrajo la totalidad del agua del río Pixquiac. Sin embargo gran parte de ese periodo, dado el bajo caudal del río antes de la presa, ni siquiera se alcanzó a extraer el volumen total de agua asignada. Dicha situación que seca el río inmediatamente después de la presa derivadora, es evidente y se agudiza conforme avanza la temporada seca (nov-may). Sin embargo, no es posible atribuirle la total responsabilidad a la presa, ya que se deben considerar otros aspectos que pueden estar incidiendo en la disminución del caudal del río Pixquiac desde antes de la presa. Por ejemplo; aumento de extracciones de agua y cambios en los patrones de lluvia y escurrimiento, por lo anterior se sugieren estudiar los aspectos señalados.

También se destaca que a pesar de que la CMAS-Xalapa posee una asignación que le permite extraer hasta 250 l/s a la altura de la presa Medio Pixquiac, existen disposiciones legales que se contraponen con las prácticas de extracción total de agua del río. Entre estas disposiciones se encuentra la Ley Nacional de Aguas, que en el artículo 22° indica que el otorgamiento de una asignación estará sujeta, entre otras cosas, a la disponibilidad media anual de agua en la cuenca, y deberá revisarse al menos cada tres años. Por lo tanto es necesario revisar la asignación otorgada a fin de evitar la extracción absoluta del agua del río Pixquiac a la altura de la presa Medio Pixquiac.

Por último, en la cuenca río Pixquiac existe un decreto de veda responsabilidad del gobierno federal, es decir, de acuerdo a la Ley De Aguas Nacionales (LAN), la cuenca río Pixquiac es un área en la cual no se autorizan aprovechamientos de agua adicionales a

los establecidos. La condición de veda en la cuenca río Pixquiac debe aprovecharse para garantizar como mínima medida la conservación del caudal ecológico del río. Lo mencionado implica que además de proveer agua para diversos usos, se garantice reservar en el río un caudal que conserve el equilibrio del ciclo hidrológico, servicios ambientales, componentes, funciones y procesos de ecosistemas.

Referencias

- Comisión** Municipal de Agua y Saneamiento – Xalapa, CMAS- Xalapa. (2022). *Información, capacidad y procedimiento de distribución de tanques* [Conjunto de datos]. https://cmasxalapa.gob.mx/pdf/distribucion_de_tanques.pdf
- Holwerda**, F., Bruijnzeel, L., Muñoz-Villers, L., Equihua, M., Asbjornsen, H. y Asbjornsen, H. (2010). Rainfall and cloud water interception in mature and secondary lower montane cloud forests of central Veracruz, Mexico. *Journal of Hydrology*, 84-96. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.012>
- Instituto** Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020). *Censo Poblacional y de Vivienda 2020* [Conjunto de datos]. Subsistema de Información Demográfica y Social. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Lezama-Alcocer**, C., Muñoz-Villers, L. y Cervantes-Pérez J. (2023). Comportamiento hidrológico de la cuenca periurbana río Pixquiac centro de Veracruz. (Ponencia Oral). Segundo Congreso Estudiantil del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático – UNAM, CDMX, México. https://www.atmosfera.unam.mx/wp-content/uploads/2023/11/Memorias_Segundo_Congreso_Completo.pdf
- López-Hernández**, J. (2019). *Comportamiento hidrológico a varias escalas temporales de una cuenca periurbana, centro de Veracruz, México* (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. <https://tinyurl.com/mwn9z9m3>
- Muñoz-Villers**, L. y McDonnell, J. (2013). Land use change effects on runoff generation in a humid tropical montane cloud forest region. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 3543–3560. <https://doi.org/10.5194/hess-17-3543-2013>
- Paré**, L. y Gerez, P. (2012). *Al filo del agua: cogestión de la subcuenca del río Pixquiac, Veracruz*. UNAM y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales CDMX. <https://ru.iis.sociales.unam.mx/handle/IIS/4996>
- Shinbrot**, X. A., Muñoz-Villers, L., Mayer, A., López-Portillo, M., Jones, K., López-Ramírez, S., Lezama-Alcocer, C., Ramos-Escobedo M., y Manson, R. (2020). Quiahua, the First Citizen Science Rainfall Monitoring Network in Mexico: Filling Critical Gaps in Rainfall Data for Evaluating a Payment for Hydrologic Services Program. *CITIZEN SCIENCE: THEORY AND PRACTICE*, 5(1), 1-15. <https://doi.org/10.5334/cstp.316>
- Ulloa-Gutiérrez**, V. (2021). *Disponibilidad, usos y factores relacionados con la variación del recurso hídrico en el río Pixquiac, Veracruz* (Tesis de Especialidad). Universidad Veracruzana. <http://cdigital.uv.mx/handle/1944/52624>