

## **Diagnóstico sociohidrológico de tres humedales urbanos de Xalapa, Ver., México**

### **Sociohydrological diagnosis of three urban wetlands in Xalapa, Ver., Mexico**

**María Elizabeth Hernández\*<sup>1</sup>, Violeta Alejandra Bastián-Lima<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Red de Manejo Biotecnológico de Recursos. Instituto de Ecología A.C. Carretera antigua a Coatepec 351, Col. El Haya, 71073 Xalapa, Veracruz, México. Correo-e (*e-mail*): [elizabeth.hernandez@inecol.mx](mailto:elizabeth.hernandez@inecol.mx)

<sup>2</sup>Innovación Tecnológica Sustentable. Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla. Carretera Costera del Golfo Kilómetro 140+100. 95804 San Andrés Tuxtla, Veracruz, México. Correo-e (*e-mail*): [violetabastian@itsat.edu.mx](mailto:violetabastian@itsat.edu.mx).

\*Autora a quien debe dirigirse la correspondencia

Recibido: Mayo 10, 2022

Aceptado: Junio 30, 2022

#### **Resumen**

El agua es uno de los tres componentes principales de los humedales. Dentro de la zona urbana y periurbana se encuentran humedales que generalmente son perturbados por el crecimiento de las ciudades. Los objetivos de esta investigación fueron realizar un diagnóstico fisicoquímico y biológico de la calidad del agua de tres humedales en la Ciudad de Xalapa, Ver., México, e indagar el efecto de los cambios hidrológicos en los humedales sobre la calidad de vida de los habitantes aledaños a dichos ecosistemas. Se midió mensualmente el nivel de agua y se analizó la concentración de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), así como la concentración de bacterias coliformes totales y fecales en agua en diferentes puntos de los tres humedales de junio a noviembre de 2021. A los habitantes aledaños a los humedales se les realizó una entrevista semiestructurada para indagar cómo los cambios hidrológicos en los humedales afectan su calidad de vida. Se encontró que los tres humedales presentaron una columna de agua de 10 a 80 cm, con una variación acorde con la precipitación pluvial. El humedal Molinos de San Roque, presenta una fragmentación del ecosistema por la construcción de un canal profundo lo que ha ocasionado que un área importante presente poca inundación. La concentración de aniones reflejó condiciones eutróficas en los tres humedales y la concentración de coliformes totales y fecales alcanzó valores por arriba de 200,000 colonias/100 mL en el mes de agosto en los tres humedales en estudio, lo que indicó que hay contaminación por aguas negras. Se encontró que solamente en las colonias aledañas al humedal Molinos de San Roque se inundan y es este humedal también el que ha recibido más cambios hidrológicos. Se encontró que 44% de los entrevistados sufren inundaciones en sus casas en la época de lluvias (abril a noviembre). Mencionaron 25% de los entrevistados tener pérdidas económicas y 47% problemas de salud a causa de las inundaciones. El 79% de ellos no sabe lo que es un humedal y, por ende, desconocen que estos ecosistemas pueden mitigar las inundaciones. Algunos de los habitantes entrevistados identifican a los humedales marinos y costeros pero el 95% de la muestra en estudio no reconoce a un humedal urbano. Se concluye que la estrategia de rehabilitación de estos humedales urbanos debe considerar la utilización de humedales 'construidos' que limpien los escurrimientos urbanos que entran a ellos y que el agua que inunda las colonias aledañas al humedal Molinos de San Roque debe canalizarse a estos humedales 'construidos'.

Palabras clave: Contaminación de agua, macrofitas, humedales 'construidos', ecosistemas urbanos, sociedad urbana

#### **Abstract**

Water is one of the most important components of wetlands. Within the urban and peri-urban area there are wetlands that are generally disturbed by the growth of cities. The objectives of this research were to carry out a physicochemical and biological diagnosis of the water in three urban wetlands in the City of Xalapa, Ver., Mexico, and investigate the effect of hydrological changes in wetlands on the quality of life of the inhabitants surrounding such ecosystems. The water level was measured monthly and the concentration of nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), and sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) were analyzed, as well as the concentration of total and fecal coliform bacteria in water at different points in the three wetlands from June to November 2021. The inhabitants near the wetlands were given a semi-structured interview to investigate how the hydrological changes in the wetlands affect their quality of life. It was found that the three wetlands presented a water column of 10 to 80 cm, with a variation according to rainfall. The Molinos de San Roque wetland presents a fragmentation of the ecosystem due to the construction of a deep channel, which has caused an important area with low flooding. The concentration of anions

---

reflected eutrophic conditions in the three wetlands and the concentration of total and fecal coliforms was higher than 20000 colonies/100 mL August for the three wetlands indicating a sewage contamination. It was found that only the settlements surrounding the Molinos de San Roque wetland were flooded. This wetland also showed the highest hydrological changes. It was found that 44% of the interviewees suffer flooding in their houses in the rainy season (April to November). 25% of the interviewees mentioned economic losses and 47% had health problems due to the floods. 79% of them do not know what a wetland is and, therefore, are unaware that these ecosystems can mitigate floods. Some of the inhabitants interviewed identify marine and coastal wetlands but 95% of the study sample does not recognize an urban wetland. It is concluded that the rehabilitation strategy of these urban wetlands must consider the use of 'constructed' wetlands for cleaning the urban runoff that enters them and that the water that floods the surrounding neighborhoods to the Molinos de San Roque wetland should be channeled to these constructed wetlands.

Keywords: Water pollution, macrophytes, constructed wetlands, urban ecosystems, urban society

## INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas, la relación de nuevas ciencias y disciplinas en el estudio del ciclo hidrológico se ha incrementado. En este periodo los problemas hídricos se han complicado debido a la velocidad a la que los seres humanos están modificando las distintas fases del ciclo hidrológico (Wagener et al., 2010). Las consecuencias son a nivel local y hasta global. Sin embargo, las interacciones entre los seres humanos y el agua han existido desde la antigüedad (Dunning et al., 2012). A lo largo de los siglos han ocurrido fenómenos emergentes de tipo sociohidrológico, donde se involucran las diferencias espaciales que surgen entre los actores sociales con respecto de la gestión y uso de los recursos hídricos.

Actualmente, científicos ambientales, ecólogos del paisaje, geógrafos y planificadores del uso de la tierra dan prioridad a comprender la dinámica y los umbrales del cambio ecológico de los paisajes dominados por el hombre. Esto ha dado lugar a la existencia de cambios ecológicos en los equilibrios de los ecosistemas nuevos y existentes (Hobbs et al., 2009) o ecosistemas híbridos (Robbins, 2001) que surgen a través de la interacción dialéctica entre los humanos y los procesos naturales. Es necesario realizar investigación para atender esta problemática. Para ello, deben de estudiarse los ecosistemas que actualmente conviven con áreas urbanas como los humedales ya que son sumamente sensibles a la actividad humana (Hettiarachchi et al., 2014).

Los humedales se definen como ecosistemas de transición entre los ambientes acuáticos y terrestres que se caracterizan por tener suelo inundado la mayor parte del tiempo o con agua cerca de la superficie del suelo donde crecen plantas adaptadas a condiciones de inundación (Mitsch y Gosselink, 2015). Pueden encontrarse en un entorno urbano y rural (Kansiime et al., 2007). Los humedales urbanos y periurbanos se definen como aquellos que están dentro y alrededor de las ciudades y sus suburbios (Rodríguez-Matla, 2021). Éstos varían en tamaño, forma y tipo debido a las diferencias de clima, suelo, vegetación y condiciones hidrológicas (Dahl, 1990).

Los servicios ambientales se definen como las contribuciones directas e indirectas que los ecosistemas proporcionan al bienestar humano (Constanza, 1997). Los humedales prestan múltiples e importantes servicios ambientales. A los humedales se les ha llamado "los riñones del planeta" porque depuran las corrientes de agua, de forma análoga a cómo los riñones depuran la sangre. Los humedales estabilizan las fuentes de agua y mitigan inundaciones y sequías, recargan acuíferos y protegen las costas. Son también considerados como supermercados naturales, por contar con una gran cantidad de cadenas tróficas. Cada cadena está formada por varias especies que se alimentan una de la otra, lo que mantiene una gran biodiversidad. Además, los humedales capturan y acumulan carbono de la atmósfera y son por eso estabilizadores del clima (Mitsch et al., 2015).

Históricamente, los humedales han sido afectados por la acción humana al ser considerados como un obstáculo para el uso productivo de la tierra, calificándolos como terrenos baldíos que deben drenarse, rellenarse o manipularse para obtener servicios o productos distintos a los servicios ambientales que brindan (Dahl, 1990; Ehrenfeld, 2008). De acuerdo con la Convención sobre los

---

Humedales Ramsar, éstos siguen disminuyendo a escala mundial a un ritmo alarmante, tanto en extensión como en calidad, degradándose los servicios que los ecosistemas brindan a la sociedad. Como consecuencia, se generan impactos de tipo social, ambiental, político, cultural y económico (por ejemplo, aumento del riesgo de inundaciones, disminución de la calidad del agua, impactos sobre la salud, la identidad cultural y los medios de subsistencia) (Gardner et al., 2015).

Los humedales urbanos son afectados de forma directa e indirecta en sus componentes hidrológicos, fisicoquímicos y bióticos, por la urbanización (Azous y Horner, 2001; Ehrenfeld, 2008; Hettiarachchi et al., 2014). Destacan la escorrentía no controlada como la principal amenaza para los recursos de las cuencas hidrográficas (Azous y Horner, 2001). Quienes habitan en los alrededores de los humedales aún dependen en gran medida de ciertos servicios ecosistémicos, como la regulación de inundaciones (Hettiarachchi et al., 2014).

Las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) son un concepto nuevo que abarca todas las acciones que se apoyan en los ecosistemas y los servicios que proveen, para responder a desafíos de la sociedad, como el cambio climático, la seguridad alimentaria y el riesgo de desastres (Frantzeskaki et al., 2019). En un entorno urbano, los humedales son un ecosistema invaluable para mitigar problemas urbanos frecuentes como las inundaciones y la contaminación por aguas negras. Los humedales urbanos amortiguan en parte la escorrentía después de las lluvias, y disminuyen la velocidad a la que se drena el agua, mitigando las inundaciones. Este es un nuevo enfoque en comparación con los sistemas de drenaje rápido en los que se utilizan zanjas y tuberías. Otro beneficio de los humedales es que los contaminantes como el nitrógeno y fósforo son capturados por la vegetación y el sedimento, lo que mejora significativamente la calidad de la escorrentía. Además, según estudios recientes, los humedales urbanos también reducen las temperaturas promedio diarias en las ciudades. Esto es muy relevante debido al aumento de la temperatura ambiental por el calentamiento global. Finalmente, la belleza estética de un humedal con aves en un espejo de agua es un espectáculo para los habitantes que demandan sitios de recreación en donde puedan relajarse y disminuir el estrés (Hernández, 2021).

La ciudad de Xalapa, Veracruz, México, posee humedales que se encuentran bajo diferentes categorías de reservas naturales (federales, estatales y municipales). Estar dentro de la categoría de reservas naturales no ha sido suficiente para mantener su integridad ecológica porque poseen diferentes grados de perturbación. Destacan la contaminación de agua, los rellenos de sus suelos, el pastoreo de ganado y la alteración de sus ciclos naturales de inundación, trayendo consecuencias negativas en la flora y fauna. A causa del crecimiento urbano, los humedales de Xalapa se encuentran gravemente impactados (Hernández, 2021). Por lo tanto, es necesario llevar acciones de rehabilitación de los humedales urbanos de dicha ciudad. Para poder establecer estrategias de rehabilitación es necesario llevar a cabo un diagnóstico, físico, biológico y social de los humedales. El incorporar la parte social en el diagnóstico de los humedales urbanos es crucial, ya que es el hombre quien causa el desequilibrio en los ecosistemas y también es quien sufre la pérdida de los servicios ambientales que proveen (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2012).

La presente investigación tiene como objetivo obtener un diagnóstico sociohidrológico que permita conocer el estado actual de las características físico-biológicas del agua de tres humedales urbanos en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México. También tiene el de indagar cómo los cambios hidrológicos afectan la calidad de vida de los habitantes de las colonias aledañas a los humedales en estudio. Este tipo de información será de utilidad para la conservación y generación de propuestas de restauración para los humedales en estudio.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Sitio de estudio**

El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Xalapa, ubicada al centro del estado de Veracruz y aproximadamente 280 kilómetros al este de la Ciudad de México, colinda al norte con Banderilla,

Jilotepec y Naolinco, al sur con Coatepec, al oeste con Tlalnahuayocan y al este con Actopan y Emiliano Zapata. Sus 124.38 km<sup>2</sup> de extensión representan el 0.17% del territorio veracruzano. Los humedales por rehabilitar son el humedal de Molinos de San Roque, El humedal de Campo de Tiro (Maver) y el humedal de Santa Fe. Todos se encuentran dentro de la mancha urbana de la ciudad de Xalapa.

### Aspectos fisicoquímicos y biológicos

**Nivel y calidad de agua:** De acuerdo con el área del humedal, se establecieron puntos de muestreo fijos en cada humedal (Figura 1). En estos puntos una vez al mes (junio-noviembre) se midió el nivel de agua con la ayuda de un metro de madera y se tomaron muestras de 150 mL de agua superficial, que se colocaron en un contenedor refrigerado y se transportaron al laboratorio, manteniéndolas en congelación hasta su análisis. También en puntos selectos, se tomaron en frascos estériles muestras de 100 mL, para el análisis de bacterias coliformes y *E. coli*.



**Figura 1. Puntos de muestreo de nivel y calidad de agua en tres humedales urbanos de Xalapa. A) Humedal Lomas de Santa Fe. B) Humedal de la colonia Maver. C) Humedal Molinos de San Roque**

### Métodos analíticos

**Cuantificación de aniones:** Las muestras en el laboratorio se descongelaron y se filtraron a través de una membrana de 0.45 micras y al filtrado se le analizó el contenido de los siguiente aniones: Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) usando cromatografía de iones (DIONEX IC 500). Se empleó una columna ARS 2mm, con efluente de carbonato-bicarbonato de sodio 4.6 mM-0.8 mM, a una velocidad de 0.25 mL/min (Hernández y Marín, 2018).

**Cuantificación de bacterias coliformes y *Escherichia coli*:** La determinación de coliformes fecales y totales se hizo con una membrana de 0.45 micras e incubación durante 48 horas a 25°C. Se emplearon almohadillas del medio de cultivo cromocul t® Marca Sartorius stedim número de catálogo (14087-50-N) (APHA-AWWA-WPCF, 1998).

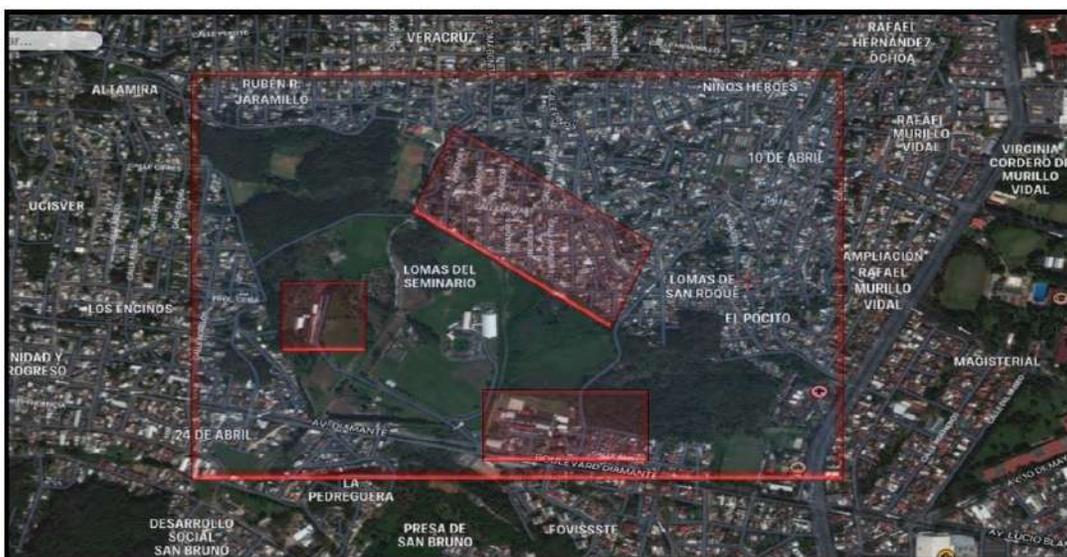
### Aspectos sociohidrológicos

**Sondeo para determinar existencia de inundaciones en los sitios de los humedales:** El 10 de septiembre del 2021 diversos actores sociales comunitarios, académicos y gubernamentales realizaron recorridos a cada uno de los sitios de estudio con la finalidad de identificar si los habitantes de las colonias aledañas a los humedales de Xalapa sufren inundaciones frecuentes en la época de lluvias. Mediante la técnica de observación, el uso de instrumentos como el diario de campo, cámara fotográfica y realización de entrevistas personalizadas a los actores sociales comunitarios de cada sitio de estudio; se obtuvo información que permitió determinar que únicamente los habitantes de colonias aledañas al humedal de Molinos de San Roque eran los afectados por las inundaciones en época de lluvias.

La investigación social acerca de la evaluación de las inundaciones en el humedal de Molinos de San Roque fue realizada abordando el análisis del lugar de origen, teniendo como unidad de análisis a los(as) jefes(as) de familias de habitantes aledaños al humedal. La estrategia metodológica empleada se realizó a nivel micro integrando la metodología mixta (cualitativa – cuantitativa), lo cual permite complementar información, datos, estadística descriptiva, así como las decisiones y experiencias de los actores sociales que se encuentran involucrados en el sitio de estudio. El alcance de la investigación es explicativa con un tipo de investigación transversal y el diseño no es experimental. Se tiene como propósito obtener información representativa de la existencia y los efectos de las inundaciones en las viviendas y en la calidad de vida de los habitantes que residen en calles aledañas al humedal de Molinos de San Roque.

### ‘Operacionalización’ del trabajo de campo

El trabajo de campo para la realización de entrevistas semiestructuradas a los actores sociales, con residencia en colonias aledañas al humedal, se llevó a cabo del 18 al 28 de octubre del 2021. Las colonias visitadas fueron Lomas de San Roque, Lomas del Seminario y la Unidad Habitacional FOVISSSTE (Figura 2). Se aplicó el método de "bola de nieve" (alud) y se identificó a los informantes clave durante la realización de las entrevistas. Finalmente, se obtuvo una muestra de estudio de 68 jefes(as) de familia. Ésta se dividió considerando a los actores sociales que tienen afectaciones en la vivienda y salud (30 entrevistados) y a los que únicamente se encuentran afectados en su calidad de vida y salud (38 entrevistados). Por último, a toda la muestra de estudio se les realizó una encuesta relacionada con el conocimiento que poseen acerca de los humedales.

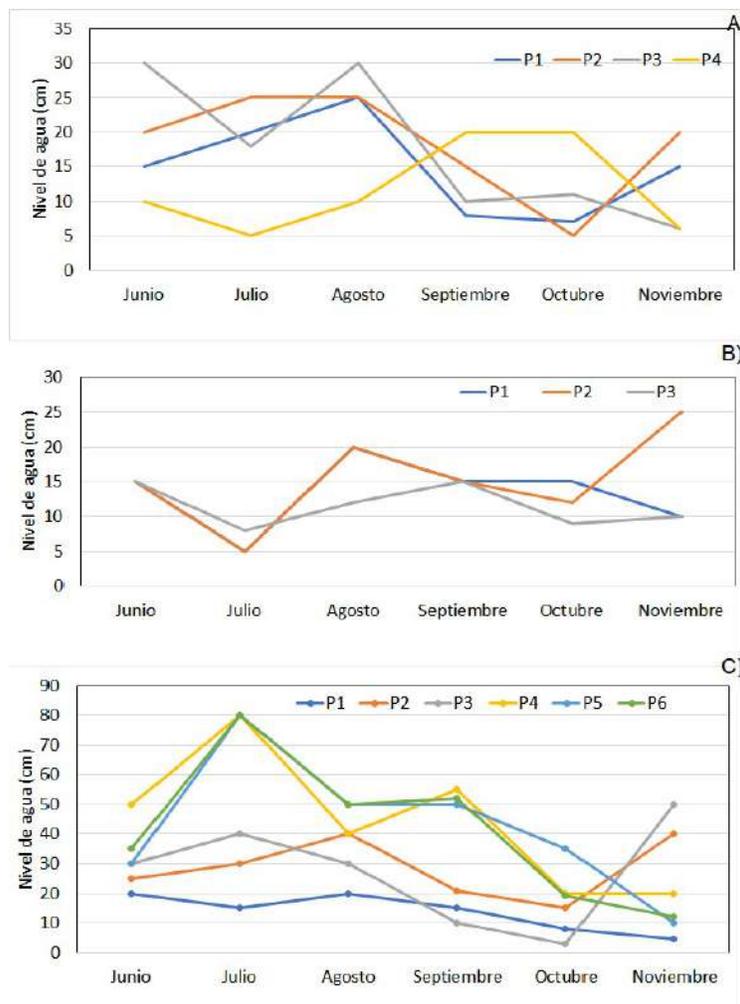


**Figura 2. Universo de población seleccionada para la entrevista semiestructurada en el humedal Molinos de San Roque**

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Diagnósticos fisicoquímicos

**Nivel piezométrico:** Se construyeron los hidro-periodos para cada humedal (Figura 3).



**Figura 3. Hidro-periodos de los humedales urbanos en Xalapa, Ver. A) Humedal Lomas de Santa Fe, B) Humedal de la colonia Maver, C) Humedal Molinos de San Roque. P1, P2, ...,P6, son los puntos seleccionados en cada humedal de acuerdo con su topografía**

En el humedal de Lomas de Santa Fe, se midió el nivel de agua en 4 puntos (Figura 3A), durante los 6 meses de monitoreo (seguimiento). El nivel de agua fluctuó entre 5 y 30 cm, observando una columna de agua continua en todos los puntos, especialmente en los puntos 1-3 durante los meses de junio a agosto. El nivel desciende en el punto 4 correspondiente a la salida del agua del humedal, presentando niveles de agua más bajos. En el humedal de la colonia Maver (Figura 3B), se monitorearon (evaluaron) 3 puntos, observándose niveles de agua entre 5 y 25 cm, el punto 1 corresponde a la entrada principal de agua al humedal y el punto 3, cerca de la salida del humedal. Se presentan niveles de agua más bajos que a la entrada. En el humedal de Molinos de San Roque (Figura 3C), se monitorearon (evaluaron) 6 puntos. Se observó que en este humedal la entrada de agua es por diferentes lugares. Por ello, se tomaron muestras de agua cerca de los puntos visibles de entrada de agua (P2, P3, P5, P6) y P1 y P4, fueron puntos alejados de estas entradas. Los niveles de agua en este humedal oscilaron entre 0 y 80 cm. El P1, fue el que presentó niveles de agua más

---

bajos. Los puntos 4, 5 y 6 fueron los que presentaron los niveles de agua más altos (hasta 80 cm), principalmente durante la época de lluvias.

Es importante mencionar que el humedal ha sido dividido en dos partes por un canal profundo construido con el fin de desfogar de manera rápida los escurrimientos pluviales de las calles. Sin embargo, este canal lo único que ha logrado es una fragmentación del humedal con una parte (P1) con muy poca inundación y vegetación de humedal y otra parte con inundación estancada con vegetación acuática. Además, en la zona de P1, adicionalmente hay otro canal profundo que igual trata de desfogar el agua de los escurrimientos urbanos. Ambos canales, se azolvan muy rápido por la alta concentración de sedimentos de los escurrimientos urbanos, por lo cual no cumplen su función y lo que sí han hecho es dañar el humedal y quitarle su función de retener los golpes de agua. Es urgente que, para rehabilitar la zona de P1, se levante el suelo y se hagan pequeños lagos que retengan y limpien los escurrimientos pluviales urbanos.

Uno de los principales componentes de los humedales es la hidrología, definida como dinámica y diversa porque la inundación puede ser permanente o intermitente. Aunque se caracterizan por estar conectados a un cuerpo de agua superficial también existen humedales que tienen conexión con aguas subterráneas (Hernández, 2010; Mistch y Gosselink, 2000). Específicamente, los tres humedales en estudio son alimentados por escurrimientos superficiales y posiblemente por agua subterránea. Se ha observado que las oscilaciones en el nivel del agua, siguen el comportamiento de la precipitación de la zona, aumentando los niveles en época de lluvia en junio y descienden al disminuir la precipitación en noviembre; cada humedal presenta una oscilación diferente, tanto en el nivel como en el tiempo de inundación (Rincón-Pérez et al., 2020).

**Concentración de aniones:** La concentración de  $\text{NO}_2^-$  en el agua superficial del humedal Lomas de Santa Fe osciló entre 0.01 mg/L a 1.2 mg/L, la concentración de  $\text{NO}_3^-$  varió entre 0.01 a 2 mg/L, la concentración de  $\text{PO}_4^{3-}$  entre niveles 0.05 y 1.6 mg/L y la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  entre 0.5 y 12 mg/L. Se observaron variaciones estacionales y espaciales sin una tendencia específica.

En el agua superficial del humedal de la colonia Maver, la concentración de  $\text{NO}_2^-$  en el agua superficial osciló entre niveles de 0.01 a 2.5 mg/L, la concentración de  $\text{NO}_3^-$  entre niveles de 0.01 a 4 mg/L, la concentración de  $\text{PO}_4^{3-}$  entre niveles de 0.05 a 4.0 mg/L y la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  entre 0.5 y 40 mg/L. En el humedal Molinos de San Roque se establecieron 6 puntos de muestreo de agua superficial dentro del humedal y un punto de muestreo en el canal que pasa a un lado del humedal P7. En estos puntos la concentración de  $\text{NO}_2^-$  en el agua superficial osciló entre niveles de 0.01 a 1.8 mg/L, la concentración de  $\text{NO}_3^-$  entre niveles de 0.01 a 10 mg/L, la concentración de  $\text{PO}_4^{3-}$  entre niveles abajo del límite de detección (0.05 mg/L) a 2.5 mg/L y la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  entre 0.5 y 20 mg/L.

Se observa un aumento en la concentración de aniones durante los meses de agosto y septiembre que coincide con la mayor intensidad de lluvias en la zona. Esto podría indicar que los escurrimientos superficiales que alimentan a los humedales aportan cargas de nutrientes a los mismos; implicando el transporte de los nutrientes presentes en el suelo hasta el humedal (Romero, 2009).

En el humedal de la colonia Maver, frecuentemente se observa una disminución de nitritos y nitratos a la salida del humedal, indicando que se está realizando cierta depuración del agua por el sistema integrado. Las bajas concentraciones de nitritos pueden deberse a la oxidación de los nitritos que pasan a nitratos. Por otro lado, la disminución de los nitratos puede deberse a que éstos se absorben y son utilizados por la vegetación acuática para sintetizar proteínas (Pulido-López y Pinilla-Agudelo, 2017; Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo, 2008; Sze, 1993). No así para sulfatos, debido a que la concentración de este anión en algunas ocasiones es más alta a la salida del humedal, lo cual pudiera deberse al origen de este ion, que pudiera ser proveniente de los lixiviados de los desechos de construcción que tiran al humedal cerca de la salida del agua.

---

En el caso del humedal Lomas de Santa Fe, no se observan concentraciones más bajas de aniones a la salida. Esto pudiera deberse a que el humedal es más grande y tiene múltiples puntos de entrada de agua, que no fueron todos muestreados. Solamente se hicieron a lo largo del flujo norte-sur.

El humedal Molinos de San Roque tiene una hidrología modificada. De igual manera, tiene varios puntos de entrada (P2, P4, P5, P6) y no una salida clara de agua del humedal. Esto podría explicar el comportamiento estocástico de las concentraciones de aniones durante el periodo de muestreo. También es importante resaltar que las concentraciones de aniones analizadas fueron más altas en el punto P7. Este es el canal a un lado del humedal, lo que indica que dentro hay cierta dilución de los contaminantes, ya sea porque hay agua subterránea o porque hay afluentes superficiales pluviales con cargas menores de nutrientes.

La concentración de bacterias coliformes fecales en el humedal Lomas de Santa Fe (Figura 4A), oscilaron entre 200 y 300000 UFC/100mL, siendo las concentraciones más altas en el punto 2, el que presentó las más altas y se observa una disminución en el P4, que es la salida de agua del humedal.

En el humedal de la colonia Maver (Figura 4B) la concentración de las bacterias coliformes variaron de 100 a 180,000 UFC/100 ml, observándose la concentración de *E.coli* baja durante el periodo de muestreo y se observa una disminución de las bacterias coliformes del P1 al P3, es decir, de la entrada mayor de agua a la salida de agua del humedal.

En el humedal Molinos de San Roque (Figura 4C), las concentraciones de coliformes oscilaron entre 100 y 150,000 UFC, pero en el canal P7, de 100 a 300,000 UFC/100 mL.

En general se observa que la presencia de altas concentraciones de bacterias coliformes en las aguas de estos humedales urbanos indican contaminación por aguas de drenaje y, si bien no llegan a millones de colonias como las aguas de drenaje puro, sí indican aguas de drenaje diluidas.

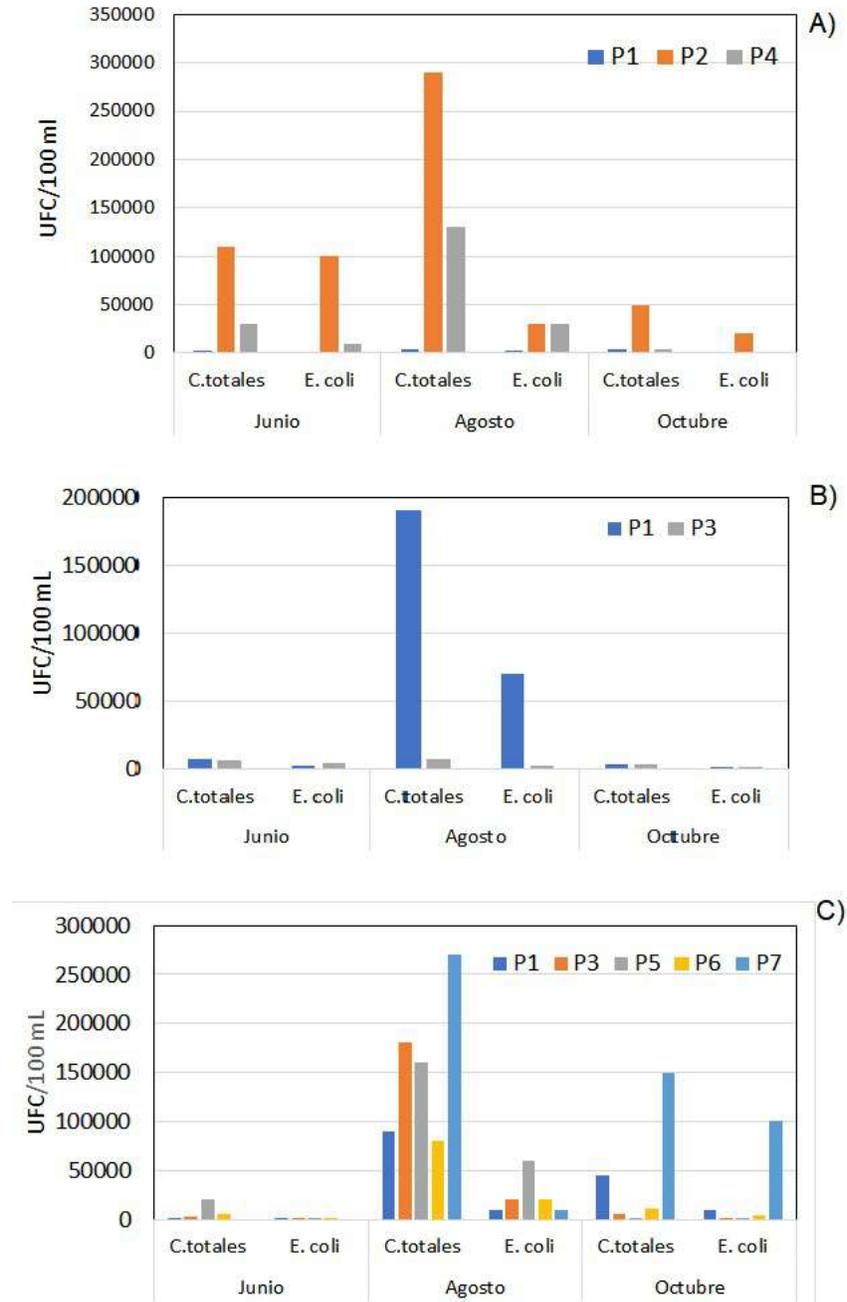
En el canal al lado del humedal Molinos de San Roque las concentraciones de bacterias coliformes son más altas y en los tres sitios hubo un aumento significativo en la concentración de bacterias coliformes en agosto, coincidiendo con las altas precipitaciones pluviales que ocasionan escurrimientos de las calles y en Xalapa cuando llueve intensamente los drenajes se desbordan porque se mezcla agua pluvial con aguas negras.

Para que un agua sea segura para actividades de recreación, no debe tener más de 300 UFC/100 mL, por lo que es claro que en estos humedales no puede haber actividades de recreación en el estado en que se encuentran (Characklis et al., 2009, Corsini et al., 2015).

En 2005, como parte de un plan de recuperar y restaurar humedales en otro país, se monitorearon durante tres años los coliformes totales y fecales de tres estanques. Los resultados mostraron que la cantidad de coliformes fluctuaba entre estanques pudiendo deberse a que las fuentes de coliformes no eran las mismas para cada estanque. Los coliformes totales variaron de 8 – 344 UFC/mL, mientras que los coliformes fecales de 3 – 53 UFC/mL, indicando que estaban por encima del valor recomendado. Esa área restaurada no era todavía adecuada para recreación pero sí para realizar recorridos de educación ambiental y de investigación. Las causas de las fluctuaciones no se conocen bien pero se analizó que las muestras se recogieron durante la escorrentía del deshielo primaveral y pudo haber influido también la variación de las lluvias (Corsini et al., 2015). Este estudio coincide con lo observado en el presente trabajo. La presencia de coliformes se detecta cuando existen altas precipitaciones pluviales aunadas al desbordamiento de los drenajes.

Sánchez-Vera y Vélez-Zambrano (2019) evaluaron la variabilidad biológica de coliformes en el humedal La Segua Chone-Manabí. Seleccionaron diversos puntos de muestreo en la parte media y profunda de la masa de agua en diferentes horarios. Concluyeron que había diferencias significativa entre los puntos de muestreo y los horarios, mientras que la profundidad no influía estadísticamente

en la variabilidad biológica de coliformes. Probablemente se deba a las precipitaciones, descargas de agua de empresas camaroneras y a los ingresos de agua provenientes de dos ríos al humedal. En este sentido, es de gran importancia identificar las fuentes de agua que ingresan al humedal ya sean superficiales o subterráneas.



**Figura 4. Concentración de bacterias coliformes totales y *E. coli* en los humedales urbanos de Xalapa, Ver., México, de junio a octubre de 2021. A) Humedal Lomas de Santa Fe, B) Humedal de la colonia Maver y C) Humedal de Molinos de San Roque**

La información obtenida de las concentraciones de coliformes presenta una mayor influencia por las precipitaciones. Por ello deben considerarse como un factor importante al realizar análisis de la calidad del agua (Romeu et al., 2012). En la ciudad de Xalapa, Veracruz, el periodo de lluvia se presenta

---

entre los meses de junio a octubre; favoreciéndose los fenómenos de arrastre y escurrimiento de los suelos. Esto provoca que las concentraciones de bacterias coliformes se incrementen. Dado que uno de los servicios más afectados en las viviendas de los habitantes aledaños al humedal es el drenaje, el comportamiento de las concentraciones de coliformes estaría siendo afectado. En este sentido, se requiere un seguimiento constante en la época de lluvias (Pérez et al., 2008).

Cuando los resultados de la calidad del agua muestran que no pueden ser empleadas para la realización de actividades recreativas es necesario implementar medidas para disminuir la contaminación del agua. Esto minimizaría el riesgo para los habitantes que viven a los alrededores de los humedales urbanos (Rodríguez et al., 2017; Romeu-Álvarez et al., 2012).

De acuerdo con la mala calidad de agua encontrada se necesita una estrategia de rehabilitación de estos humedales urbanos que debe incluir un sistema de tratamiento de las escorrentías pluviales. En este sentido, el incorporar humedales construidos para tratar los influentes de los humedales urbanos es una opción adecuada ya que van con el paisaje de los humedales urbanos. Un ejemplo de esta estrategia se ha utilizado para la restauración de la zona de humedales más grande de los Estados Unidos, los Everglades, en Florida. Dentro de las actividades de restauración de esa zona de humedales se incluyeron varias hectáreas de humedales construidos para tratar los escurrimientos de los campos de caña de azúcar antes de que entren a los humedales de los Everglades (Mitsch y Gosselink, 2000).

### **Aspectos sociohidrológicos**

**Características sociodemográficas de los habitantes aledaños al humedal de Molinos de San Roque participantes en el estudio:** De los 68 jefes(as) de familia, se tiene un rango de edad entre los 18 y 83 años. El 26% son jóvenes y adultos, mientras que los adultos mayores corresponden a un 74%. De los 68 jefes(as) de familia, 35% son de sexo masculino y 65% femenino. La antigüedad en el domicilio corresponde de 2 meses – 10 años (28%) y de 11 a 45 años (72%). La ocupación de los entrevistados es variable: El 41% tiene un empleo informal, el 38% realiza labores del hogar, 9% son pensionados(as), 4% son estudiantes, 6% tiene empleo formal y 2% está desempleado.

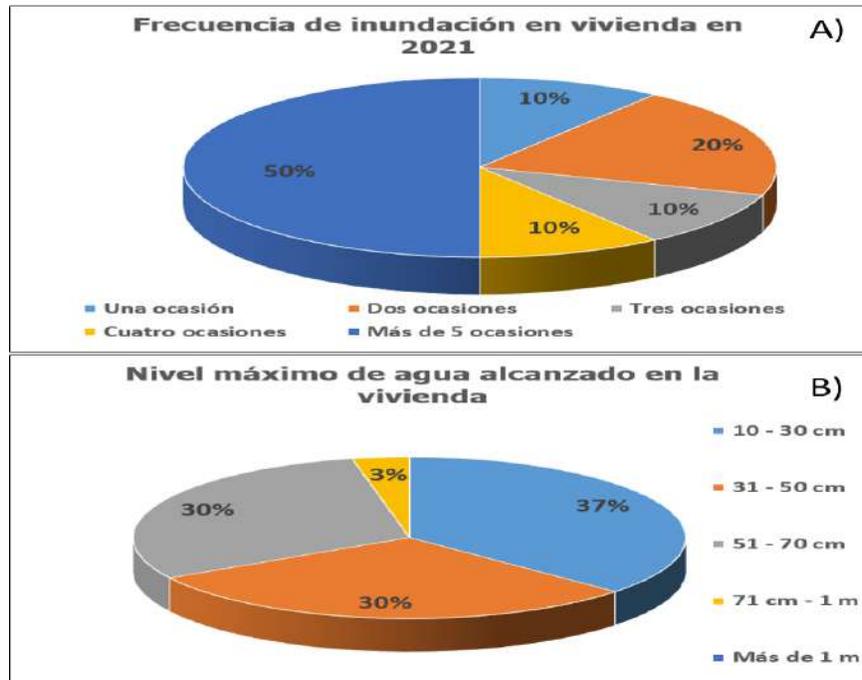
La reconfiguración de la población sobre suelos inseguros son ocupados por habitantes de bajos recursos económicos dadas las necesidades de vivienda por satisfacer. Esto ocasiona la transformación de los ecosistemas. En este sentido, se incrementan las afectaciones por inundaciones debido a la ubicación, servicios básicos y tenencia de la tierra. La forma de respuesta depende de otras variables como los ingresos, la educación y la salud para determinar resiliencia y recuperación para enfrentar las adversidades de las inundaciones (Hernández y Vieyra, 2010). De acuerdo con las variables del sexo y edad se observa que predominan las mujeres en edad adulta. Esto podría deberse al horario y días en los que fueron aplicadas las entrevistas.

**Afectaciones en la vivienda y en la salud a causa de las inundaciones:** Las inundaciones tienen relación directa con los asentamientos humanos, ya sea por la urbanización o la cercanía de las poblaciones a zonas propensas a inundarse, aumentando la vulnerabilidad de las personas ante los impactos que puedan ocasionar las inundaciones. En Veracruz, una quinta parte de la población vive en zonas inundables. En consecuencia, en época de lluvias se ve afectada por las inundaciones involucrando aspectos económicos y sociales (Vergara-Tenorio et al., 2011). Considerando a la muestra de estudio de 68 jefes(as) de familia, 30 de los actores entrevistados (44%) han sufrido daños en sus viviendas y en su salud a causa de las inundaciones en la época de lluvias.

En la ciudad de Xalapa, Veracruz, en años anteriores a la realización del estudio, la época de lluvias se presentaba entre los meses de junio a octubre. En el año 2021 las lluvias iniciaron en el mes de abril extendiéndose hasta el mes de noviembre (Bedolla-Solano et al., 2021). Los resultados de las 30 entrevistas semiestructuradas sobre las afectaciones en viviendas muestran que el 50% de los

jefes(as) de familia presentaron daños en sus viviendas una vez al año, 20% dos veces al año, 10% tres ocasiones, 10% cuatro ocasiones y 10% cinco ocasiones por año (Figura 5A).

El nivel máximo de agua alcanzado dentro de las viviendas fluctúa entre 10 cm a 1 m. Se indicó que el 37% de las viviendas han alcanzado un nivel de agua máximo de 10 a 30 cm, el 30% entre 31 a 50 cm, 30% de 51 a 70 cm y el 3% de 71 cm a 1 m (Figura 5B).



**Figura 5. A) Frecuencia de inundación al año y B) Nivel máximo de agua alcanzado en la vivienda**

Del total de la muestra en estudio de los jefes(as) de familias entrevistados con afectaciones en sus viviendas y en la calidad de vida, el 47% tiene algún integrante de la familia con problemas de salud debido a las inundaciones en sus colonias. Los problemas de salud detectados en algún integrante de familia corresponde en un 56% a enfermedades respiratorias (alergias, dolor de garganta, asma, gripe y tos), el 19% en la piel y el cuerpo (reumas, alteración de la presión, dolor de huesos e infecciones en la piel) y el 25% identifica enfermedades de tipo emocional (Figura 6).

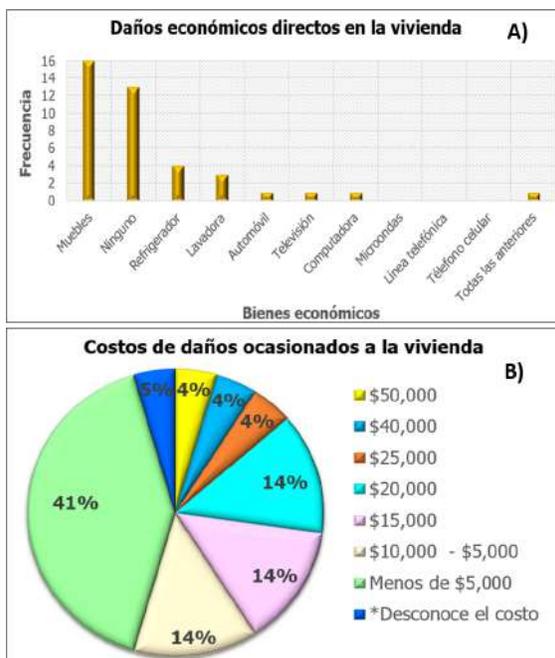


**Figura 6. Afectaciones en la salud física o emocional a causa de las inundaciones**

En el aspecto social, las inundaciones presentan una diversidad de impactos en la salud, principalmente aquellas enfermedades infecciosas transmitidas por el agua o por vectores representando un problema importante de salud pública (Brown y Murray, 2013). Respecto de la salud emocional, aquellas familias con afectaciones en sus viviendas a causa de las inundaciones acentúan

emociones como el miedo, estrés, tensión y preocupación en épocas de lluvias. De acuerdo con Bedolla-Solano et al. (2021), las personas presentan pánico por las lluvias (no duermen pensando en que si llueve, les llegará el agua); deciden salir abandonando sus viviendas para dormir en lugares que no son afectados por completo. También lloran y lamentan las pérdidas que sufren, no asimilan haber perdido todo lo que logran en años atrás en cuestión de horas.

**Afectaciones y daños económicos directos:** Los jefes(as) de familias que han presentado afectaciones en sus viviendas a causa de las inundaciones argumentaron que esta situación les ha generado daños económicos directos cada año, situación que se agrava con el ingreso de los huracanes al territorio veracruzano. El huracán que les afectó con mayor intensidad fue 'Grace' quien ocasionó severas inundaciones, lluvias torrenciales y diversos daños el 21 de agosto del 2021. De acuerdo con la frecuencia anual de las inundaciones y al nivel máximo de agua alcanzado en la vivienda, el 57% de los actores sociales entrevistados reportaron daños en muebles, refrigeradores, lavadoras, televisión y computadoras; mientras que un 43% de los entrevistados indican no tener ningún daño económico directo (Figura 7A).

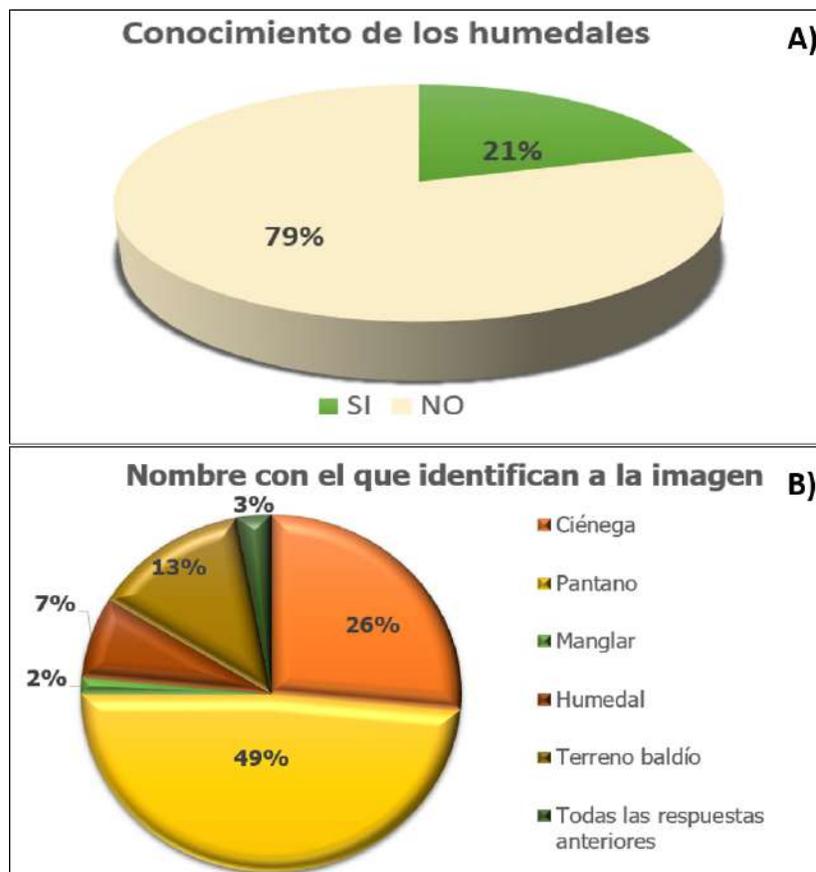


**Figura 7. A) Daños económicos directos en la vivienda y B) Costos de daños a causa de las inundaciones**

Esto se presenta, principalmente en aquellos jefes(as) de familias que tienen más de 10 años de antigüedad en el domicilio. Los integrantes de las familias se preparan para evitar pérdidas de bienes, organizándose para cambiarlos de ubicación (de planta baja a un segundo piso de la vivienda). Otros jefes (as) de familias están tan adaptados a observar la avenida principal como un río, por lo tanto, optan por colocar costales de arena a la entrada de sus viviendas para evitar filtraciones de agua. Algunos de los habitantes tuvieron la necesidad de construir las viviendas más altas, otros decidieron abandonarlas o venderlas y las que aún siguen presentando daños es porque los dueños no tienen suficientes medios económicos para levantar el nivel de sus viviendas. Las inundaciones provocan el deterioro material de las viviendas y, a medida que este se intensifica, se incrementa la cantidad monetaria para reparar los daños. En algunos casos, habitantes afectados deciden cambiar de residencia poniendo a la venta su patrimonio. La situación se llega a complicar por las condiciones en las que se encuentra la vivienda (Alfie-Cohen y Castillo-Oropeza, 2017).

Los jefes(as) de familias con afectaciones en las viviendas a causa de las inundaciones reportan daños estructurales en sus casas. Los daños observados y cuantificados son: humedad, drenaje, patio, fractura de piso, puertas de madera, bardas cuarteadas y filtración del agua por las paredes. Los

principales daños en las viviendas son: la humedad y drenaje. Cuando se presentan las lluvias torrenciales el sistema de drenaje se satura y empieza a desbordarse en el interior de las viviendas o en el patio. Por lo tanto, cada jefe(a) de familia se organiza para prevenir el desborde de aguas negras en su vivienda, algunos han colocado llaves de paso para cerrar el drenaje de la vivienda cada ocasión que llueve. Otros jefes(as) de familia cubren de forma rústica las cajas de registro de los drenajes y hay quienes prefieren abandonar sus viviendas durante los días de lluvias. Existen diversos contextos en cada vivienda, para algunos la pavimentación de calles ha ocasionado los problemas de desbordes de los drenajes, para otros el exceso de basura ocasiona que los alcantarillados del drenaje se obstruyan e incluso el declive de la calle que va en sentido contrario al canal de desagües de aguas negras. Los costos de los daños ocasionados a las viviendas a causa de las inundaciones fluctúan entre gastos menores de \$3,000.00 pesos hasta gastos de \$50,000.00 pesos. Algunos afectados desconocen el costo porque hasta el momento no les ha sido posible reparar los daños (Figura 7B).



**Figura 8. A) Conocimiento de los humedales y B) Nombre con el que identifican un humedal los habitantes aledaños al Humedal Molinos de San Roque**

**Conocimiento acerca de los humedales:** El humedal de Molinos de San Roque, está localizado en la Reserva Ecológica Estatal del Santuario de las Garzas (Rodríguez-Matla, 2021). En este sentido, a la muestra de estudio de 68 jefes(as) de familias que viven en zonas aledañas al humedal de Molinos de San Roque se les preguntó si saben qué es un humedal y el 79% de las respuestas indican que desconocen lo que es un humedal (Figura 8A). A los jefes(as) de familias se les mostró una fotografía impresa del humedal Molinos de San Roque y se les preguntó con qué nombre identificaban el lugar. El 49% de los entrevistados lo reconoció con el nombre de pantano, 26% lo identificó como ciénega, el 13% lo observa como un terreno baldío, únicamente el 7% reconoce que es un humedal, 3% lo reconoció con todos los nombres propuestos y el 2% le llamó manglar (Figura 8B). A los actores sociales les gustaría ver al humedal de Molinos de San Roque conservado (35%) o como un parque

---

recreativo (34%), 19% como un lugar turístico, 7% como un espacio para educación y desarrollo económico y el 5% construido. De acuerdo con las respuestas obtenidas, a los pobladores aledaños les gustaría conservar el humedal, interés que prevalece principalmente en las personas adultas y de la tercera edad porque durante el desarrollo de la entrevista recordaron especies de vegetales y animales que atraía el humedal antes de poblarse estas colonias.

Actualmente, se observa la reducción de la biodiversidad porque está siendo enmascarada por el aumento de número de especies indeseables (Rooney et al., 2015). Asimismo, el 66% de los jefes(as) de familia tiene el conocimiento de que los humedales disminuyen el riesgo de las inundaciones; el 34% lo desconoce. Estadísticamente existe un sesgo en las respuestas acerca del conocimiento de lo que es un humedal y el conocimiento de que éstos ayudan a mitigar inundaciones. No obstante, esto puede deberse a que los habitantes reconocen al humedal Molinos de San Roque principalmente como un pantano que puede ser utilizado para recibir las escorrentías pluviales y el sistema de drenaje que en épocas de lluvia ocasiona daños e inundaciones en sus colonias y viviendas. Otro aspecto puede ser la falta de información de la existencia de humedales urbanos; aunque el pantano lo identifican como un área natural protegida desconocen que se trata de un humedal. Por lo tanto, los humedales son valorados por la sociedad principalmente por la protección de las inundaciones aunado a los diversos beneficios más comúnmente observados como lo es la presencia de árboles de sombra, aves y la estética similar a un parque (paisajismo), dando mayor importancia al aspecto estético (Rooney et al., 2015). Sin embargo, algunos de los habitantes aledaños al humedal de San Roque es posible que tengan conocimiento de los servicios ambientales que brindan los humedales marinos y costeros, desconociendo la existencia e importancia de los humedales urbanos.

La participación de los ciudadanos de una región es de interés en los procesos de elaboración y ejecución de propuestas que contribuyan a la toma de decisiones del uso sostenible de los recursos naturales mediante la sensibilización, educación ambiental y reconocimiento del entorno (Flórez-Yepes et al., 2014). En el presente estudio, al 72% de los jefes(as) de familia les gustaría participar en actividades informativas y de educación ambiental; mientras que a un 47% les gustaría realizar actividades para mejorar y ayudar a que el humedal contribuya a la disminución de las inundaciones. Lo anterior significa un buen inicio para generar propuestas de rehabilitación en el humedal en estudio. Existe evidencia de la importancia de la participación ciudadana en diversos lugares. Un ejemplo es la recuperación del humedal Anganchilla en Valdivia, Chile; región en donde los ciudadanos conjuntaron la preocupación ambiental con el ejercicio de la soberanía ciudadana obteniendo como resultado una transformación de su propia realidad, asumiendo cada actor social las tareas que les corresponden, con la finalidad de conservar la biodiversidad y a la vez mejorar su calidad de vida (Swekes et al., 2012).

## **CONCLUSIONES**

Con base en los dos objetivos señalados al inicio se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Los tres humedales urbanos de Xalapa estudiados, siguiendo los atributos de los humedales, mantienen la mayoría de su área cubierta por una columna de agua poco profunda de junio a noviembre.

La calidad de agua de los humedales refleja contaminación por aguas negras en los tres humedales urbanos estudiados, probablemente debido a que reciben escurrimientos de aguas pluviales mezcladas con drenajes. Además, la presencia de altas concentraciones de sulfatos podría indicar lixiviados de los escombros de construcción que se han vertido en ellos.

De los tres humedales urbanos en estudio, únicamente los habitantes de las colonias aledañas al humedal Molino de San Roque sufren inundaciones frecuentes en la época de lluvias. De acuerdo con

la frecuencia e intensidad de las lluvias en Xalapa, se generan inundaciones que causan daños en la infraestructura de las viviendas y en los enseres domésticos de los habitantes aledaños al humedal Molinos de San Roque. Esto ocasiona gastos económicos que fluctúan dependiendo del grado de afectación en cada vivienda. Aunado a lo anterior, las inundaciones causan alteraciones a la salud física y emocional sobresaliendo las enfermedades respiratorias y las de tipo emocional. La población se encuentra consciente de que las afectaciones no se deben únicamente a la frecuencia e intensidad de las lluvias, sino también a las actividades antropogénicas que desarrolla cada actor social. Ejemplos de esto son: La falta de desazolve, la disposición inadecuada de residuos sólidos, las condiciones de nivel de cada terreno, etc.

Es de suma importancia integrar en el proyecto de restauración de estos humedales a los actores locales, porque son los más afectados o beneficiados por los bienes y servicios ambientales que éste les ofrece y, a la vez, son los que más los impactan. Por lo tanto, es prioridad sensibilizar y capacitar a los habitantes aledaños al humedal para que puedan asumir responsabilidades, compromisos de protección y uso adecuado de cada humedal.

## RECOMENDACIONES

De acuerdo con la mala calidad del agua observada en los tres humedales urbanos estudiados, es necesario que la estrategia de rehabilitación incluya sistemas de filtración de los escurrimientos pluviales que entran a ellos.

Los humedales 'construidos' son la mejor opción para tratar los escurrimientos urbanos ya que, además de filtrar el agua, van acordes con el paisaje de los humedales urbanos. Además, en el caso del humedal Molinos de San Roque, es necesario realizar un dragado de la parte del humedal colindante con la colonia Lomas de Seminario, para que el humedal sea capaz de retener e infiltrar lentamente los escurrimientos en la época de lluvias para mitigar las inundaciones que sufren varias familias en la zona y así reducir problemas económicos y de salud para los habitantes de esa área.

Es necesario que la estrategia de rehabilitación incluya un programa de educación ambiental y acciones participativas con los ciudadanos para asegurar la conservación de los humedales cuando ya estén restaurados y que los habitantes los consideren como propios (como zonas ajardinadas aledañas a sus viviendas).

## GLOSARIO

<b>Término</b>	<b>Significado</b>
Operacionalización	Aviso: La palabra <b>operacionalización</b> no está en el diccionario de la lengua española. Del inglés <i>operationalization</i> : <i>In research design, especially in psychology, social sciences, life sciences and physics, operationalization or operationalisation is a process of defining the measurement of a phenomenon which is not directly measurable, though its existence is inferred by other phenomena</i> (operacionalización: en el diseño de investigación, especialmente en psicología, ciencias sociales, ciencias de la vida y física, la operacionalización u operacionalización es un proceso de definición de la medición de un fenómeno que no es directamente medible, aunque su existencia se infiere de otros fenómenos) (Wikipedia)
Popal	Nombre en náhuatl para ciénega, pantano, manglar o humedal y, por extensión, en algunas zonas llaman a las plantas acuáticas que proliferan en ellos popal como 'popal camalote', una planta nativa de Tabasco (Padrón-López, 2005)
SbN	Soluciones Basadas en la Naturaleza
Xalapa	Del Náhuatl. Xallapan (de <i>xalli</i> : arena, <i>apan</i> : río o manantial) "manantial en la arena". Sitio donde brota un manantial en terreno arenoso

## RECONOCIMIENTOS

Este proyecto fue financiado por el CONACYT a través del proyecto PRONACE 316500. Los autores agradecen al Biól. Alejandro Hernández-Sánchez, Biól. Diego Junca-Gómez y M. en C. Patricia Bello-Hidalgo por su ayuda en campo y laboratorio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alfie-Cohen, M., Castillo-Oropeza, O.A. 2016. Con el agua al cuello. Riesgo por inundación, vulnerabilidad socioambiental y gobernanza en el municipio de Cuautitlán. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*. [S.l.] 18(2):55-84. ISSN 1405-8626. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40152906004>
- APHA-AWWA-WPCF. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 3rd edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Washington, DC. EE.UU.
- Azous, A.L., Horner, R.R. Eds. 2001. *Wetlands and urbanization: Implications for the future*. Lewis Publishers. CRC Press. Boca Raton, FL. Seattle, WA. EE.UU.
- Bedolla-Solano. R., Miranda-Esteban. A, Bedolla-Solano. J.J., Sánchez-Adame. O. 2021. Análisis prospectivo-educativo del impacto del huracán Max en una comunidad de Guerrero. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*. 11(22), e033. Epub 20 de septiembre de 2021. <https://doi.org/10.23913/ride.v11i22.877>
- Brown, L., Murray, V. 2013. Examining the relationship between infectious diseases and flooding in Europe. *Disaster Health*. 1(2):117-127. DOI: [10.4161/dish.25216](https://doi.org/10.4161/dish.25216)
- Characklis, G., Krometis, L.A., Sobsey, M.D., Simmons III, O.D., Drummey, P., Healy, T., Hunn, J., Kasturi, K., Russo, S. 2009. Watershed restoration plan to address fecal coliform impairment of Northeast Creek in Durham, NC. North Carolina Department of Environmental Sciences and Engineering. Contract N° EW07010. EE.UU.
- Constanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., O'Neil, R., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387: 253-260.
- Corsini, J., Peters, L., Tarry, B., Pak, C., Antell, K. 2015. Characterization of springtime coliform populations at the End Creek Wetland Restoration (Union Co., Oregon, USA): A Three-Year Study. *Natural Resources*. 6: 482-490. doi: [10.4236/nr.2015.68046](https://doi.org/10.4236/nr.2015.68046).
- Dahl, T.E. 1990. *Wetland losses in the United States, 1780s to 1980s*. US Department of Interior, Fish and Wildlife Service. Washington, DC, EE.UU.
- Dunning, N., Beach, T., Beach, S. 2012. Kax and kol: Collapse and resilience in lowland Maya civilization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 109(10):3652-3657. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1114838109](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1114838109)
- Ehrenfeld, J. 2008. Exotic invasive species in Urban Wetland: Environmental correlates and implications for wetlands management. *Journal of Applied Ecology*. 45(4): 1160-1169. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01476.x>
- Flórez-Yepes, G.Y., Alzate-Álvarez, A.M., Rincón-Santamaría, A. 2014. Participación comunitaria para la construcción de lineamientos de uso y conservación de humedales altoandinos. Experiencia piloto en el sector El Ocho y Páramo de Letras. *Luna Azul*. 38: 274-296. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-24742014000100016&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742014000100016&lng=en&tlng=es)
- Frantzeskaki, N. 2019. Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. *Environmental Science and Policy*. 93: 101-111. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.033>
- Gardner, R.C., Barchiesi, S., Beltrame, C., Finlayson, C.M., Galewski, T., Harrison, I., Paganini, M., Perennou, C., Pritchard, D.E., Rosenqvist, A., Walpole, M. 2015. *State of the World's Wetlands and their Services to People: A compilation of recent analyses*. Ramsar Briefing Note No. 7. Ramsar Convention Secretariat. Gland, Switzerland.
- Hernández, M.E. 2021. Los humedales urbanos, un tesoro desconocido y muy amenazado en el Estado de Veracruz. *El Jarocho Cuántico*. 2(17):5
- Hernández, M.E., Marín-Muñiz, J.L. 2018. Greenhouse Gas Emissions and Treatment Performance in Constructed Wetlands with Ornamental Plants. In *Artificial or Constructed Wetlands: A Suitable Technology for Sustainable Water Management*. María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa (Mexico), Amado Enrique Navarro-Frómata (Mexico), Josep María Bayona Termens (Spain), Eds. CRC Press, 1<sup>st</sup> edition. ISBN-10: 1138739189. ISBN-13: 978-1138739185. Chapter 9. Pp. 163-177. Boca Raton, Florida, U.S. (June 30, 2018).
- Hernández, M.E. 2010. Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Terra Latinoamericana*, 28(2): 139-147. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792010000200005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000200005&lng=es&tlng=es).
- Hernández, J., Vieyra, A. 2010. Riesgo por inundaciones en asentamientos precarios del periurbano. Morelia, una ciudad media mexicana: ¿El desastre nace o se hace? *Revista de Geografía Norte Grande*. 47: 45-62. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022010000300003>
- Hettiarachchi, M., Morrison, T.H., Wickramasinghe, D., Mapa, R., De Alwis, A., McAlpine, C.A. 2014. The eco-social transformation of urban wetlands: A case study of Colombo, Sri Lanka. *Landscape and Urban Planning*. 132: 55-68.
- Hobbs, R.J., Higgs, E., Harris, J.A. 2009. Novel ecosystems: Implications for conservation and restoration. *Trends in Ecology and Evolution*. 24(11): 599-605. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2009.05.012>
- Kansiime, F., Kateyo, E., Oryem-Origa, H., Mucunguzi, P. 2007. Nutrient status and retention in pristine and disturbed wetlands in Uganda: Management implications. *Wetlands Ecology and Management*. 15: 453-467. <http://dx.doi.org/10.1007/s11273-007-9054-6>

- 
- Mitsch, W.J., Gosselink, J. 2000. *Wetlands*. 3rd ed. John Wiley and Sons. New York, NY. EE.UU.
- Mitsch, W.J., Bernal, B., Hernández, M.E. 2015. Ecosystem services of wetlands. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*. 11:1-4.
- Padrón-López, R.M. 2005. Depuración de aguas residuales domésticas a través de humedales artificiales de flujo vertical en zonas trópico-húmedas. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Programa de la División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Defensa: Noviembre 7, 2005. Villahermosa, Tabasco, México.
- Pérez, J., Hernández, G., González, F., López, T. 2008. Alternativas para conocer el comportamiento de la calidad del agua en un tramo del arroyo Guachinango. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 17(3): 6-9.
- Pulido-López, P.C., Pinilla-Agudelo, G.A. 2017. Evaluación del estado trófico de El Salitre, último humedal urbano de referencia en Bogotá. *RACCEFYN*. 41(158): 41-50.  
<https://doi.org/10.18257/raccefyn.41>
- Rincón-Pérez, M., Infante-Mata, D., Moreno-Casasola, P., Hernández-Alarcón, M.E., Barba-Macías, E., García-Alfaro, J.R. 2020. Patrones de distribución y estructura de la vegetación en el gradiente de humedales costeros El Castaño, Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*. 68(1): 242-259. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v68i1.37616>
- Robbins, P. 2001. Tracking invasive land covers in India, or why our landscapes have never been modern. *Annals of the Association of American Geographers*. 91(4): 637-659.  
<http://dx.doi.org/10.1111/0004-5608.00263>
- Rodríguez-Matla, P.I. 2021. Arquitectura del paisaje y percepciones del humedal urbano Molino de San Roque en Xalapa, Veracruz, México, para generar estrategias de rehabilitación socio-ambientales. Tesis de Maestría en Desarrollo Regional Sustentable. El Colegio de Veracruz. 5 de marzo de 2021. *Sciences*. 109(10): 3652-3657. [www.pnas.org/cgi/doi/](http://www.pnas.org/cgi/doi/)
- Rodríguez, R., Retamoza-Chávez, R., Aponte, H., Valdivia, E. 2017. Evaluación microbiológica de un cuerpo de agua del ACR Humedales de Ventanilla (Callao, Perú) y su importancia para la salud pública local. *Ecología Aplicada*. 16(1): 15-21. ISSN: 1726-2216.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34152002003>
- Roldán-Pérez, G., Ramírez-Restrepo, J.J. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical*. 2da ed. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Romero, J.A. 2009. *Calidad del agua*. 3ra ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia.
- Romeu-Álvarez, B., Larrea-Murrell, J., Lugo-Moya, D., Rojas-Hernández, N., Heydrich-Pérez, M. 2012. Calidad microbiológica de las aguas del río Luyanó, La Habana, Cuba. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*. 43(3).  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181226874006>
- Rooney, R.C., Foote, L., Krogman, N., Pattison, J.K., Wilson, M.J., Bayley, S.E. 2015. Replacing natural wetlands with stormwater management facilities: Biophysical and perceived social values. *Water Research*. 73: 17-28.
- Sánchez-Vera, B.D., Vélez-Zambrano, J.J. 2019. Evaluación de la variabilidad biológica de coliformes y fitoplancton del agua en el humedal la Segua Chone – Manabí. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López".
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. 2012. *Perspectiva de las ciudades y la diversidad biológica – Resumen Ejecutivo*. 16 páginas. Montreal, Canadá.
- Skewes, J.C., Rehbein, R., Mancilla, C. 2012. Ciudadanía y sustentabilidad ambiental en la ciudad: la recuperación del humedal Angachilla y la organización local en la Villa Claro de Luna, Valdivia, Chile. *EURE*. 38(113): 127-145. ISSN: 0250-7161.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=19623142006>
- Sze, P. 1993. *A biology of the algae*. 2nd ed. C. Brown Publishers. Dubuque, WM. EE.UU.
- Vergara-Tenorio, M.C., Ellis, E.A., Cruz-Aguilar, J.A., Alarcón-Sánchez, L.C., Galván-del Moral, U. 2011. La conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental. *Política y Cultura*. 36: 45-69. ISSN: 0188-7742.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26721226003>
- Wagner, T., Sivapalan, M., Troch, P.A., McGlynn, B.L., Harman, C.J., Gupta, H.V., Kumar, P., Rao, P.S.C., Basu, N.B., Wilson, J.S. 2010. The future of hydrology: An evolving science for a changing world. *Res*. 46, W05301, doi: 10.1029/2009WR008906
-