

Documento de trabajo técnico.

Análisis hidrológico y modelación de la pérdida de volumen del lago de Pátzcuaro bajo un enfoque socioambiental sostenible.

Campos De La Cruz Antonio y Lopez Florentino Itzel.

Cita:

Campos De La Cruz Antonio y Lopez Florentino Itzel (2022). *Análisis hidrológico y modelación de la pérdida de volumen del lago de Pátzcuaro bajo un enfoque socioambiental sostenible*. Documento de trabajo técnico.

Dirección estable: <https://www.aacademica.org/antonio.campos.de.la.cruz/9>

ARK: <https://n2t.net/ark:/13683/pEhf/msS>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons.
Para ver una copia de esta licencia, visite
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>.

Acta Académica es un proyecto académico sin fines de lucro enmarcado en la iniciativa de acceso abierto. Acta Académica fue creado para facilitar a investigadores de todo el mundo el compartir su producción académica. Para crear un perfil gratuitamente o acceder a otros trabajos visite: <https://www.aacademica.org>.

Análisis hidrológico y modelación de la pérdida de volumen del lago de Pátzcuaro bajo un enfoque socioambiental sostenible

Antonio Campos De La Cruz e Itzel López Florentino

RESUMEN.

El siguiente informe técnico menciona la situación prevaleciente en el lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. El lago enfrenta desafíos de diferente magnitud, desafíos que estriban en la invasión del lirio acuático, la extracción constante de agua y no menos importante, la contaminación. Se realizó un análisis utilizando técnicas estadísticas, con el objetivo de estimar y proyectar un escenario de la pérdida del volumen de agua, de 1990-2032, con respecto al tiempo. Se destaca la importancia de la participación, de los distintos niveles de gobierno y la participación de los pueblos indígenas para la gestión ambiental y se proponen algunas medidas para la conservación, tales como el control de vertido de aguas residuales, la prohibición de especies invasoras, la transición energética en la reconversión de embarcaciones actuales, impulsados con gasolina a motores eléctricos, que puedan mitigar los daños ambientales ocasionados por motores de combustión. Se concluye destacando la necesidad de acciones de trabajo coordinadas para la recuperación del lago de Pátzcuaro y la importancia de involucrar a las comunidades indígenas en la toma de decisiones.

INTRODUCCIÓN.

El lago de Pátzcuaro es un lago del estado de Michoacán, México ubicado a 63 Km de la ciudad de Morelia. Tiene una superficie de 260 km^2 , con una longitud de 55 Km y una anchura de 34 Km. Cuenta con una profundidad promedio de $\approx 5\text{m}$ siendo su parte más profunda de $\approx 8\text{m}$ (secretaría de Marina. Agencia de Gobierno, sf). Presenta un clima templado húmedo con lluvias en verano y temperatura promedio anual de 16°C . la precipitación promedio anual es de 1000 a 1200 mm.

Tiene una forma de “C” alargada, en la parte central posee cuatro islas alineadas; de sur a norte se encuentra la isla de Janitzio que pertenece a un cono

cinerítico, hacia el norte continúa el domo de la isla de Tecuena seguido por los flujos de lava de Yunuen y Pacanda. El Lago se encuentra rodeado por volcanes tipo escudo, conos cineríticos, domos y flujos de lava con composiciones que van desde andesitas basálticas a dacitas (García & Goguitchaichvili, 2016).

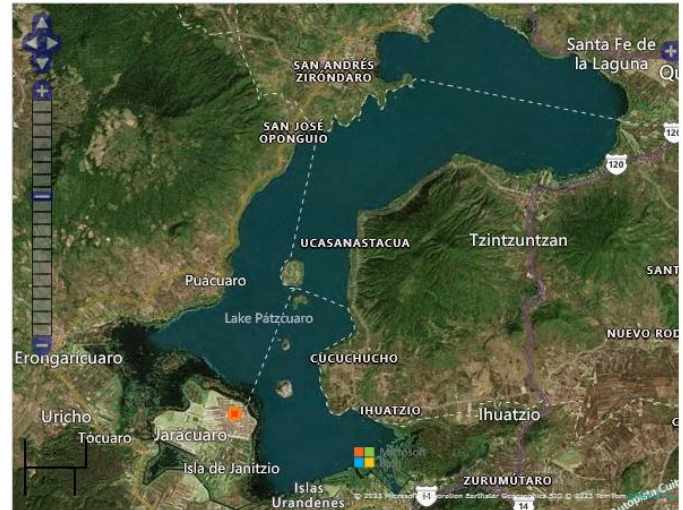


Imagen 1.1.-Forma geométrica del lago de Pátzcuaro (RAMSAR, 2005).

Por tratarse de una cuenca endorreica el agua que llega al lago proviene únicamente de la precipitación pluvial, las escorrentías superficiales y los manantiales que afloran en su interior. El volumen del agua promedio por escurrimiento que recibe el lago en un año es de $\approx 456 \text{ mm}^3$ (Secretaría de Marina. Agencia de Gobierno, sf).

Las pérdidas de agua son atribuidas a la evaporación y transpiración de las plantas. Ek del Val de Gortari y colaboradores (Val de Gortari, 2019) en sus investigaciones determinaron que el lirio acuático (*Eichornia crassipes*) juega un papel de suma importancia en la tasa de evapotranspiración (tasa de absorción de agua cuatro veces superior a la evaporación normal de un lago sin lirios), ya que, según estos investigadores, dichas plantas son capaces de absorber grandes cantidades de agua, que como segunda instancia evaporan a la atmosfera. Por lo que dichas plantas contribuyen a la desecación de los cuerpos de agua. Se les atribuye la desecación del lago de Chapala. En el año de 1997, el investigador Alejandro Pérez-Panduro (Pérez-Panduro, 1998) calculó que los costos de los efectos negativos de los lirios en México ascendían a 411 millones de dólares por año. Además de lo anterior, se suma las grandes

extracciones de agua, que con base a la publicación del Herald de México (Charbell, 2023) se extraen cerca de 120 pipas diariamente.



Imagen 1.2.- Lirio acuático, presente en el lago de Pátzcuaro [6].

La Comisión Nacional del Agua por sus siglas **CONAGUA**, reporta que el lago de Pátzcuaro tiene una profundidad media de $\approx 5\text{m}$ y una máxima de $\approx 11\text{m}$ (CONAGUA, 2020). En los resultados de los análisis fisicoquímicos se aprecia que los valores de sólidos totales disueltos (STD) varían de 871 a 1956 ppm.

A su vez, Sánchez y colaboradores (Sánchez, sf) definen que un gran porcentaje de proyectos de desarrollo tienen un efecto sobre los recursos hídricos. Aunado a lo anterior, la identificación y estimación de estos efectos sobre la calidad y cantidad del agua son una de las actividades prioritarias en las evaluaciones y estudios de impacto ambiental. Con base a lo descrito y la importancia de los proyectos de recursos hídricos, es menester mencionar la importancia y el impacto de estas para el desarrollo del siguiente artículo.

METODOLOGÍA

La metodología empleada, fue primeramente la recopilación de datos del balance hidrológico del lago de Pátzcuaro de 1940-1992. Posterior a ello, se analizaron dos técnicas estadísticas para estimar la variación de profundidad del lago. La primera fue a través de la técnica de los mínimos cuadrados, con el objetivo de realizar un ajuste lineal con los datos previamente establecidos [3], el segundo fue a través de la técnica del coeficiente de correlación. En la tercera parte, se definieron los parámetros necesarios para establecer una

ecuación de razón de cambio, que pudiera estimar la profundidad (h) que pierde el lago de Pátzcuaro con respecto al tiempo (t). Finalmente, con las técnicas estadísticas realizadas, se efectuó una extrapolación, para proyectar la pérdida de volumen Mm^3 en 40 años, de 1992-2032, tomando como línea base el año de 1992.

Con base a lo descrito en el párrafo anterior, para establecer la ecuación que logrará estimar cual sería la pérdida de volumen en (n) cantidad de años, se utilizó el método de los mínimos cuadrados, en comparación con el grado de correlación que existe entre los años (t) y la pérdida de volumen (V). Para $n=26$. Dicha información se describe en la siguiente tabla 1.1.

Tabla 1.1. Ajuste Lineal. Mínimos Cuadrados.

x	$\Sigma x = 51090$
y	$\Sigma y = 12525$
x^2	$\Sigma x^2 =$ 100397700
xy	$\Sigma xy =$ 24638210
y^2	$\Sigma y^2 =$ 8608925
$(x - x_{promedio})$	$\Sigma(x - x_{promedio}) = 0$
$(y - y_{promedio})$	$\Sigma(y - y_{promedio}) =$ 6E-06
$(x - x_{promedio})^2$	$\Sigma(x - x_{promedio})^2 =$ 5850

$(y - \text{ypromedio})^2$	$\Sigma(y - \text{ypromedio})^2$ = 2575247.115
$(x - \text{xpromedio})(y - \text{ypromedio})$	$\Sigma(x - \text{xpromedio})(y - \text{ypromedio})$ = 26585
xpromedio	1965
ypromedio	481.73077

$$b = \frac{12525 - (4.5444)(51090)}{26} = -8448.0152$$

Sustituyendo a y b en Ec. 1 se obtiene la siguiente ecuación (Ec.2)

$$y = 4.5444x - 8448.0152 \dots \dots \dots \text{Ec. 2}$$

Sin embargo, al calcular un año (n) el resultado es incorrecto ya que la correlación entre el tiempo (t) y volumen (v) es débil. Lo anterior se comprueba con el coeficiente de correlación de Pearson.

$$Y = \frac{\Sigma(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x-\bar{x})^2}\sqrt{\Sigma(y-\bar{y})^2}} \dots \dots \dots \text{Ec. 2.1}$$

$$Y = \frac{26585}{\sqrt{5850}\sqrt{2575247.115}} = 0.2165$$

El coeficiente de correlación de Pearson, pensado para variables cuantitativas (escala mínima de intervalo) es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente. Por lo anterior en primera instancia que sus valores absolutos oscilan entre 0 y 1, es decir:

$$0 \leq Y_{xy} \leq 1$$

Para esta situación se observa una correlación casi nula (0.2) lo cual indica de forma que no puede indicarse ningún tipo de relación. Ambas variables (x ,y) son variables independientes entre sí; la variación de una de ellas no influye para nada en la variación de la otra.

Para corroborar lo anterior se tomaron las ecuaciones del método de mínimos cuadrados. Por lo que, para validar el enunciado anterior. Se tiene que;

$$y = m_y x + b_y$$

Para m_y se tiene que:

$$m_y = \frac{N \sum_{i=1}^N y_i x_i - (\sum_{i=1}^N x_i)(\sum_{i=1}^N y_i)}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}$$

De la misma forma para b_y :

$$b_y = \frac{(\sum_{i=1}^N y_i)(\sum_{i=1}^N x_i)^2 - (\sum_{i=1}^N y_i x_i) - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}$$

Respecto a los datos anteriores (tabla1.1) y aplicando el coeficiente de correlacion se tiene que:

$$y = ax + b \dots \dots \dots \text{Ec.1}$$

Para el calculo de a se tiene que:

$$a = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

Donde N es el número de datos. Para esta investigación se tiene que N=26.

Para el cálculo de b se tiene que:

$$b = \frac{\sum y - a \sum x}{(N)}$$

Sustituyendo los valores anteriores en dichas ecuaciones se obtiene:

$$a = \frac{26(44638210) - (51090)(12525)}{26(100397700) - (51090)^2}$$

$$a = \frac{691210}{152100} = 4.5444$$

Sustituyendo en b:

$$m_y = \frac{26(24638210) - (51090)(12525)}{26(100397700)(51090)^2}$$

$$m_y = 4.5444$$

$$b_y = \frac{(12525)(100397700) - (24638210)(51090)}{26(100397700)(51090)^2}$$

$$b_y = -8547.008$$

$$y = 4.5444x - 8547.008 \dots \dots \dots \text{Ec.3}$$

Se observa que tanto la ecuación 2 y la ecuación 3 son semejantes, de forma que: la correlación entre las dos variables (x, y) son independientes. Lo anterior se atribuye a que realizando las operaciones pertinentes para cualquier valor de x este no corresponde a un valor aproximado. De tal forma que el coeficiente de correlación de Pearson deduce esta afirmación.

Derivado de lo anterior, y aunado a la necesidad de conocer el cambio en la profundidad del lago de Pátzcuaro y el impacto de la misma en el desarrollo ambiental, la siguiente tabla 1.2 muestra algunos parámetros medidos del lago de Pátzcuaro definidos por Vargas y colaboradores (Vargas, 2009).

Tabla 1.2.-Parametros medidos en el lago [9].

Enunciado verbal	Cantidad
Los suelos de la cuenca presentan cierta afectación	85%
Acumulación de azolves en el lago	(1cm/año) a 1.24m ³ /año
En un tiempo (t) de 50 años	Perdida de 40km ² y 2.6 m de profundidad (h)
La basura no se recolecta	33%
Las aguas residuales de las zonas urbanas y rurales no se tratan	70%

Descarga de drenes agrícolas
"Tzurumutaro"

Descarga de aguas residuales sin tratar o tratamiento deficiente.

$$\left(400 - 800 \frac{l}{seg} \right)$$

$$200 \frac{l}{seg}$$

Partiendo de la información anterior [9] para plantear la ecuación del cálculo de profundidad se consideraron las variables siguientes: en un lapso de 50 años se ha perdido 40km² y 2.6 m de profundidad (h). Aunado a lo anterior, el área de la cuenca es de 97 km² (97000000 m²), con un volumen de 550 hm³ (550000000 m³). Para calcular la profundidad media (\bar{z}) se empleó la siguiente ecuación:

$$\bar{z} = \frac{V}{A} \text{ donde } V = \text{volumen y } A = \text{área.}$$

Empleando la ecuación anterior se tiene que la profundidad promedio es:

$$\bar{z} = \frac{550000000 \text{ m}^3}{97000000 \text{ m}^2}$$

$$\bar{z} = 5.6701 \text{ m}$$

El resultado anterior, corrobora el dato reportado por la CONAGUA [4]. En aras de lo anterior, y sabiendo que el V, A y \bar{z} son función del tiempo (t): en una expresión matemática se describe como V, A y \bar{z} f(t) de tal forma que, derivando implícitamente ambos términos respecto de t y considerando que: $\bar{z} \leftrightarrow h$ y $v = Ah$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dAh}{dt}$$

Aplicando la fórmula de derivada de funciones:

$$\frac{dv}{dt} = A \frac{d(h)}{dt} + h \frac{d(A)}{dt} \dots \dots \dots \text{Ec.4}$$

Dónde:

$\frac{dv}{dt}$ = Es la razón rapidez en la cual varía el volumen con respecto del tiempo.

$\frac{dh}{dt}$ = Es la razón rapidez en la cual varia la profundidad con respecto del tiempo.

$\frac{dA}{dt}$ = Es la razón rapidez en la cual varia el área con respecto del tiempo.

Resolviendo la expresión anterior, se tiene que:

$$\frac{dv}{dt} = 97000000 \text{ m}^2 (2.6\text{m}) + 5.67\text{m}(-40000000 \text{ m}^2)$$

$$\frac{dv}{dt} = 25400000 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

Despejando (h) de la ecuación 4: se obtiene la siguiente ecuación (5):

$$A \frac{d(h)}{dt} + h \frac{d(A)}{dt} = \frac{dv}{dt} \quad A \frac{d(h)}{dt} = \frac{dv}{dt} - h \frac{d(A)}{dt}$$

$$\frac{d(h)}{dt} = \frac{\frac{dv}{dt} - h \frac{d(A)}{dt}}{A} \dots\dots\dots \text{Ec.5}$$

La ecuación 5. Describe la razón rapidez en la cual varia la profundidad con respecto del tiempo. Grosso modo:

$$\frac{d(h)}{dt} = \frac{\left(25400000 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}\right) - 5.6\text{m}(-40000000 \text{ m}^2)}{97000000 \text{ m}^2}$$

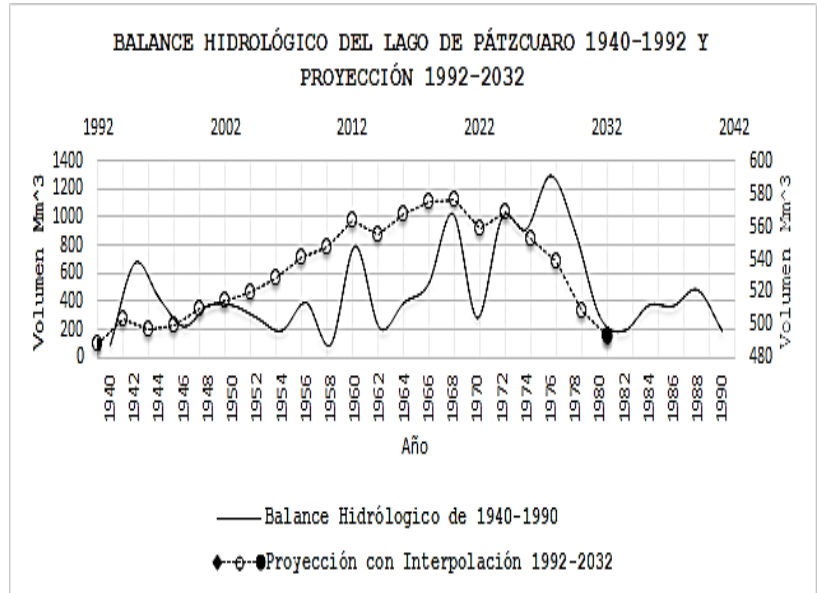
$$\frac{d(h)}{dt} = 2.57 \text{ m}/50 \text{ años.}$$

Este resultado corrobora el reportado en la tabla 1.2 por Vargas y colaboradores (Vargas, 2009). De tal forma que la **ecuación 5** es válida para conocer la rapidez con la cual varia la profundidad conforme pasa el tiempo.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En la gráfica 1.1. Se muestra el balance hidrológico del lago de Pátzcuaro correspondiente entre los años 1940-1992 [3]. En la gráfica se observa que; en los años 70's se registró la mayor pérdida de volumen, superando los 1000 Mm^3 , lo cual pone de manifiesto que es en este periodo donde se reporta la mayor pérdida de volumen, aunado al descenso de la profundidad. Con respecto a la proyección,

se observa que entre el año 2012-2022, la perdida de volumen de agua, se mantiene casi constate, con ligeras variaciones. Sin embargo, para el lapso de tiempo de 2022-2032 se percibe una menor perdida de volumen, examinándose un mayor punto de inflexión para el año 2032, lo cual es notorio. Este pequeño margen, da un espacio significativo para implementar las maniobras y planes de acción en conjunto para establecer la ruta de trabajo necesarios para frenar el deterioro del lago.



Gráfica 1.1. Balance hidrológico 1940-1992 y Proyección 1992-2032.

Mientras que Wilson y colaboradores [8]. Definen que los contaminantes que afectan el equilibrio natural de un cuerpo de agua (río, lago o agua subterráneo) se pueden clasificar como conservativos y no conservativos. Los conservativos (no biodegradables) son sustancia toxicas (Cr, Cd, Hg, Pb y Se) así como cloruros y elementos radioactivos. Los elementos no conservativos (biodegradables) se caracterizan por ser la materia orgánica su principal componente (CO_2 , material orgánico y materia celular).

De esta forma los parámetros más importantes para determinar el grado de contaminación son el OD (Oxígeno Disuelto) y el DOB (Demanda Bioquímica de Oxígeno). El OD determina la cantidad oxígeno presente en el agua, y esta es inversamente proporcional al grado de contaminación. Siendo el OD y el DOB los parámetros más importantes para determinar el grado de contaminación de un cuerpo de agua, tal es el caso del lago de Pátzcuaro, Ramírez y colaboradores [10,4]

encontraron que “las malezas acuáticas como el lirio, son plantas acuáticas flotantes que pueden cubrir totalmente la superficie del agua e impedir el paso de luz y el intercambio gaseoso entre el cuerpo de agua y la atmósfera. Por esta razón, en las zonas cubiertas por lirio, el agua es oscura y tiene bajos niveles de oxígeno disuelto que impide que muchos seres vivos puedan habitar en estas zonas, incluyendo peces. Además, al morir estas plantas se van al fondo e incrementan la materia orgánica acumulada, la cual también demanda oxígeno para su degradación. Hay otro tipo de malezas acuáticas que son plantas que crecen arraigadas al fondo del lago y permanecen sumergidas, son conocidas como pastos acuáticos. Los pastos acuáticos tienen la capacidad de colonizar zonas de menos de 2 m de profundidad y pueden también retener sedimentos. De esta forma, este tipo de plantas pueden recrear sitios apropiados para el crecimiento de otras plantas acuáticas como el tule o el carrizo y lentamente ganarle terreno al lago.

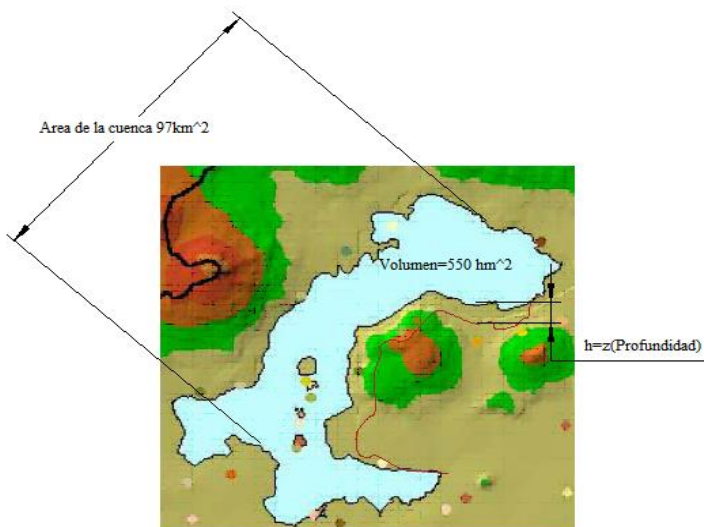


Imagen 1.3.-Dimensiones del lago de Pátzcuaro [4].

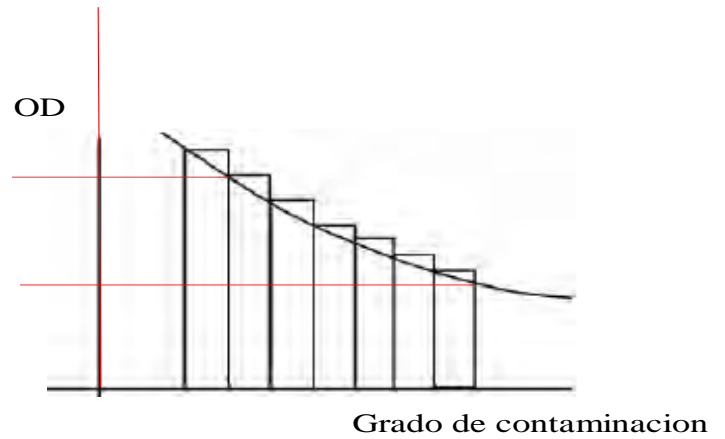


Imagen 1.3.- OD inversamente proporcional al grado de contaminación.

Otras de las variables que afectan la calidad del agua, son las aguas residuales, ya que, mediante el aporte de nutrientes, el cual provoca eutrofización del cuerpo de agua y aumento en las poblaciones de microalgas, repercuten directamente en las bajas concentraciones de oxígeno y generación de sustancias tóxicas. Aunado a esto, la contaminación del agua por residuos sólidos, tales como plástico, llantas, vidrios y animales muertos, residuos que llegan al lago por el sistema de descargas o bien arrastrados desde las calles y cercanías de las zonas habitadas hasta la ribera del lago, lo que afecta de manera importante la calidad del agua y la calidad ambiental [10].

CONCLUSIONES.

1.-El lago de Pátzcuaro se encuentra en una situación en la que a pesar de los esfuerzos exhaustivos por establecer acciones participativas que solucionen los graves problemas ambientales que prevalecen en el cuerpo de agua, no se ha logrado consolidar un plan de gestión integral de rescate del lago entre actores clave, con base a un trabajo en conjunto, tanto autoridades de las distintas comunidades de la rivera del lago de Pátzcuaro, sociedad y distintos órdenes de gobierno.

2.-El deterioro del lago de Pátzcuaro, así como los numerosos esfuerzos para establecer una gestión integral sustentable para el rescate de la misma, se pierden al no lograr acuerdos en las acciones participativas de instituciones de investigación-académica, gobierno y sociedad.

3.-La intervención participativa para el desarrollo de un plan de gestión integral de para el lago de Pátzcuaro debe estar sujeta a planear una solución en conjunto con todos los actores inmersos en el problema, generando alternativas para dar una solución apremiante al lago de Pátzcuaro.

4.-La falta de organización, coordinación y consonancia entre las instancias participantes de los tres niveles de gobierno: federal, estatal y municipal, ha generado una enorme desconfianza de la población hacia a las instituciones y desacuerdos al interior de la comunidad mermando los avances de acción para la recuperación del lago de Pátzcuaro.

PROPUESTAS DE RECUPERACIÓN Y CONSERVACION DEL LAGO DE PATZCUARO.

El Lago de Pátzcuaro se encuentra actualmente en estado tan crítico, que a causa de ello se han perdido muchos de sus procesos ecológicos y evolutivos, que de comenzarse los trabajos de conservación y recuperación de forma paulatina y exhaustiva, los primeros resultados de esta ardua labor, comenzarían a reflejarse en al menos tres o cuatro décadas[10].“Las acciones de manejo y conservación del Lago de Pátzcuaro es una tarea urgente e impostergable, para lo cual se requiere la participación de diversas disciplinas académicas y diversos actores políticos, sociales y culturales” [10]. Por lo que, con base a las investigaciones literarias, algunos de las propuestas para la conservación y recuperación del Lago de Pátzcuaro podrían ser:

1.-Frenar y controlar la descarga de aguas residuales, mediante el aumento de la eficiencia de las plantas tratadoras de agua existentes, o implementando la

creación de nuevas plantas tratadoras de aguas residuales.

2.-Detener la deforestación de las partes altas de la cuenca, ya sea dándole un giro forestal a los suelos de esa región o mediante la implementación de pago por servicios ambientales a los dueños de los bosques [10].

3.-Detener y prohibir la introducción de especies como el lirio, ya que su control implica costos económicos exorbitantes, generados por los gastos de operación de dragas mecánicas y la compra de herbicidas genéricos como el glifosato (tiene repercusiones negativas para el medio ambiente y la salud). En aras de lo anterior, El Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua, encontró un escarabajo del género Neochetina y un hongo que causa enfermedades foliares originarios de Sudamérica, estos organismos se alimentan exclusivamente del lirio y podrían en conjunto mitigar o reducir esta planta. Sin embargo, no hay un apoyo gubernamental para utilizarlos de manera más generalizada y contralar las infestaciones de lirio en otros cuerpos de agua.

4.-Frenar la extracción del agua mediante políticas públicas de control, monitoreo y vigilancia, haciendo valer el artículo 119. “La autoridad del Agua”. La cual sancionará conforme a lo previsto por esta Ley, las siguientes faltas [12].

1. *“Descargar en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en contravención a lo dispuesto en la presente Ley en cuerpos receptores que sean bienes nacionales, incluyendo aguas marinas, así como cuando se infiltren en terrenos que sean bienes nacionales o en otros terrenos cuando puedan contaminar el subsuelo o el acuífero;*
2. *Explotar, usar o aprovechar aguas nacionales residuales sin cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas en la materia y en las condiciones particulares establecidas para tal efecto;*

3. *Explotar, usar o aprovechar aguas nacionales en volúmenes mayores a los autorizados en los títulos respectivos o en las inscripciones realizadas en el Registro Público de Derechos de Agua”;*

5.- Aplicación de un programa de plantación masiva de árboles en superficies que han sido deforestadas por el cambio de uso de suelo.

6.- “*Generar un programa de educación ambiental que resalte los servicios ambientales que el Lago de Pátzcuaro ofrece a todos los pobladores de la región y la importancia de perpetuarlo, tanto con pobladores oriundos de la rivera como aquellos que han migrado a la zona*” [10].

6.- Debido al tránsito de embarcaciones a motor de combustión, y siendo estas, las responsables del transporte principal en el Lago de Pátzcuaro. La contaminación se genera por los gases que emiten los motores, el contacto de aceites y combustible eventuales, y por el sonido, que es también otra forma de contaminación. En aras de lo anterior la reconversión de lanchas convencionales en embarcaciones sustentables, cuya fuente de impulso fuese la energía eléctrica, recargada a través de paneles solares. Esta tecnología eléctrica permitiría reducir en gran medida las emisiones de CO₂ y la contaminación sonora, lo que cambiaría de forma gradual una visión asequible hacia una perspectiva más sustentable y sostenible que coadyuve a la recuperación y conservación del lago de Pátzcuaro.

Es menester mencionar que lo descrito anteriormente son solo algunas ideas generales en el marco de un sistema complejo que engloba un panorama de gestión y conservación del lago de Pátzcuaro, pero son la línea base para articular, un plan de gestión integral.

REFERENCIAS.

1.-Secretaría de Marina. Agencia de Gobierno. (sf). *LAGO DE PATZCUARO, MICHOACAN: DATOS GENERALES DEL PUERTO* [WhitePaper].

<https://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioPatzcuaro.pdf>

2.- García, A., & Goguitchaichvili A. (2016). Datación magnética de rocas volcánicas formadas durante el Holoceno: caso de flujos de lava alrededor del Lago de Pátzcuaro (campo volcánico Michoacán-Guanajuato). *REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS GEOLÓGICAS*.V, 33(2), 209-220 [2007-2902-rmcg-33-02-00209.pdf](https://doi.org/10.29027/rmcg-33-02-00209) ([scielo.org.mx](https://doi.org/10.29027/rmcg-33-02-00209))

3.-RAMSAR.(2005). *Servicio de Informacion sobre el Sitio Ramsar: Humedales del Lago de Patzcuaro* [White Paper]. <https://rsis.ramsar.org/es/rsis/1447>

4.- Val de Gortari, E. (2019, 8 enero-febrero) La invasión del lirio acuático. *Saber Más. Revista de Divulgación*. No.43, 24-27.

5.-Pérez-Panduro, A. (1998). *Primera experiencia exitosa de control biológico de lirio acuático en México. El Entomólogo*, 8:3-4.

6.- Charbell, L. (2023, 2 de junio). Agoniza el Lago de Pátzcuaro, acusan sobre explotación de agua en huertos de aguacate. Afirman que diariamente se extraen cerca de 120 pipas de agua. *EL HERALDO DE MEXICO*.

7.-CONAGUA. (2020). SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS: *ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO LAGUNILLAS-PÁTZCUARO (1604), ESTADO DE MICHOACÁN* [WhitePaper].

https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/michoacan/DR_1604.pdf

8.- SÁNCHEZ TRIANA, E., CASAS, W., & VARGAS BEJARANO, C. Capítulo 5. Modelos Matemáticos De Simulación De La Calidad Del Agua En Colombia. Principios Y Aplicaciones. *Ministerio del Medio Ambiente y Colombia. Departamento Nacional de Planificación eds. Licencias ambientales evaluación del impacto ambiental: instrumento de la planificación. Ilustrada ed. Santafé de Bogotá: Tercer Mundo*, 111-141.

9.-Sergio Vargas y Nohora Beatriz Guzmán Ramírez (2009). Deterioro de la cuenca del lago de Pátzcuaro cambios en la identidad étnica P'urhépecha. XXVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología. VIII Jornadas de Sociología de la Universidad de Buenos Aires. Asociación Latinoamericana de Sociología, Buenos Aires.

10.-URL: [EL LAGO DE PÁTZCUARO, UN LAGO EN DECADENCIA \(umich.mx\)](#)

11.- URL: [Agoniza el Lago de Pátzcuaro, acusan sobre explotación de agua en huertos de aguacate | El Heraldo de México \(heraldodemexico.com.mx\)](#)

12.-URL:
<https://mexico.justia.com/federales/leyes/ley-de-aguas-nacionales/titulo-decimo/capitulo-i/>