

# *Impluvium*

Publicación digital de la Red del Agua UNAM  
Número 26, Enero - Marzo 2024



## GESTIÓN DEL AGUA BAJO EL ENFOQUE DE LAS CUENCAS AL MAR

## INTRODUCCIÓN



La gestión de la fuente al mar es cada vez más reconocida en todo el mundo como clave para abordar con decisión los desafíos de desarrollo más apremiantes, como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la contaminación. El valor de la gestión de la fuente al mar radica en la creación de una comprensión holística de los vínculos entre la tierra, el agua dulce, las costas y el océano, de modo que las políticas y prácticas puedan beneficiar al sistema de la fuente al mar en su conjunto. Si bien estos sistemas pueden variar en tamaño, a veces abarcando vastas geografías, están conectados a través de seis flujos clave: agua, biota, sedimentos,

contaminantes, materiales y servicios ecosistémicos. Las alteraciones antropogénicas de estos flujos clave pueden dar lugar a impactos ambientales, sociales y económicos que obstaculizan el desarrollo sostenible.

La gestión de la fuente al mar es una alternativa a la mayoría de los enfoques de gobernanza actuales que no tienen en cuenta estos vínculos o tienen una comprensión limitada de las interdependencias sociales, económicas y ecológicas entre los sistemas de la fuente al mar. La gobernanza suele estructurarse en torno a segmentos individuales de un sistema o se centra en un sector. Esta frag-

mentación puede dar lugar a políticas, estrategias, planes y regulaciones que están destinados a maximizar los beneficios para una ubicación o sector específico sin considerar las posibles consecuencias de esas acciones en el sistema más amplio. Esta fragmentación no solo está presente en la gobernanza, sino también en el desarrollo del conocimiento. Los datos, el monitoreo y la investigación están segregados en diferentes disciplinas, lo que limita su capacidad para respaldar una comprensión holística de todo el sistema de las interacciones entre los sistemas de la fuente al mar. Para abordar estas brechas en la comprensión, las comunidades científicas que trabajan en temas marinos y de agua dulce podrían profundizar las colaboraciones para comprender mejor las interacciones a lo largo del ciclo del agua. Compartir estos conocimientos con los responsables de la formulación de políticas y los responsables de la toma de decisiones apoyará el desarrollo de una gobernanza coherente en todo el sistema de la fuente al mar.

Este número de Impluvium tiene como objetivo fomentar y fortalecer las colaboraciones entre las

comunidades científicas de agua dulce y marinas mediante el intercambio de estudios que se centran en diferentes desafíos que abarcan el continuo de la fuente al mar. El número también es notable porque es una de las primeras publicaciones científicas en América Latina que se enfoca en la gestión de la fuente al mar y promueve una mayor comprensión de las interconexiones presentes desde la fuente hasta el mar.

Los artículos recopilados en esta publicación exploran una serie de desafíos de la fuente al mar, como los impactos en los arrecifes de coral de la deforestación y las inundaciones río arriba, los vínculos entre la presencia de microplásticos en las cuencas bajas de los ríos y la falta de tratamiento de aguas residuales aguas arriba, las interacciones entre los acuíferos subterráneos y los arrecifes de coral, las correlaciones entre las actividades terrestres y la salud del océano y cómo las interacciones a través de una cuenca fluvial afectan la presencia de nutrientes que resultan de las actividades humanas. Esta colección refleja la adaptabilidad del pensamiento de la fuente al mar y su valor para

comprender una variedad de problemas complejos que están afectando la salud de los ecosistemas.

Es importante destacar el liderazgo de la UNAM y la Red del Agua a través de esta revista y sus actividades en el Golfo de California. Ambos son esfuerzos importantes para avanzar en el conocimiento de los desafíos de la fuente al mar en América Latina. Estos esfuerzos refuerzan el trabajo de la Plataforma de Acción para la Gestión de la Fuente al Mar (Plataforma S2S). La plataforma S2S es una red de casi 50 organizaciones asociadas que están comprometidas con la promoción, el desarrollo de experiencia y la implementación de la gestión desde la fuente hasta el mar. Con el objetivo de hacer más accesible su conocimiento, la Plataforma S2S ha traducido al español la guía seminal Implementación del Método Fuente al Mar: Guía para Profesionales (Mathews, R. E., Tengberg, A., Sjödin, J., & Liss-Lymer, B. (2019)).

Si bien hay una miríada de desafíos de la fuente al mar, con solo unos pocos presentados aquí, esta publicación de Impluvium es un paso hacia una mejor comprensión de la necesidad de la gestión de

la fuente al mar. Esperamos que los artículos motiven a los científicos y profesionales de la región a comprometerse con el concepto de la fuente al mar y a realizar sus propios esfuerzos para fortalecer nuestra comprensión de los vínculos entre la tierra, el agua dulce, las costas y el océano. Se trata de una tarea crítica, ya que la salud de los sistemas source-to-sea en todo el mundo está disminuyendo rápidamente y se necesitan urgentemente enfoques holísticos de la ciencia y la acción. 💧

**JOSÉ PABLO MURILLO**

PROGRAMME MANAGER, STOCKHOLM INTERNATIONAL WATER INSTITUTE

**RUTH MATHEWS**

SENIOR MANAGER, STOCKHOLM INTERNATIONAL WATER INSTITUTE



**Impluvium** es una publicación de la Red del Agua UNAM; puede ser reproducida con fines no lucrativos, siempre y cuando no se mutile, se cite la fuente completa y su dirección electrónica. Los artículos compartidos son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente la opinión de la Red del Agua UNAM o de sus miembros.

-----  
Comité editorial:

Dr. Fernando J. González Villarreal  
Coordinador Técnico Red del Agua UNAM

M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina  
Coordinador Ejecutivo de la Red del Agua UNAM

Mtra. Malinali Domínguez Mares  
Titular de la Unidad de Vinculación y Asuntos Internacionales

Mtra. Ana Gabriela Piedra Miranda  
Responsable de comunicación organizacional del  
Centro Regional de Seguridad Hídrica  
bajo los auspicios de UNESCO

Mtra. Johana Guadalupe Cruz López  
Subcoordinadora de Comunicación y Participación,  
Programa de Manejo, Uso y Reúso del Agua en la UNAM

Editores invitados:  
José Pablo Murillo  
Gerente de Programa,  
Instituto Internacional del Agua de Estocolmo

Ruth Mathews  
Gerente Senior,  
Instituto Internacional del Agua de Estocolmo

Diseño gráfico y formación:  
Lic. Joel Santamaría García  
Lic. Marie Claire Mendoza Muciño

Publicación digital de la Red del Agua UNAM.  
Número 26, Gestión del agua  
bajo el enfoque de las cuencas al mar.  
Enero - Marzo 2024

[www.agua.unam.mx/impluvium.html](http://www.agua.unam.mx/impluvium.html)  
-----

**Impluvium** es la publicación digital de divulgación de la Red del Agua UNAM, Año 11, No.26, Enero – Marzo 2024. Es una publicación trimestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, a través de la Red del Agua de la UNAM, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Instituto de Ingeniería, edificio 5, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, Tel. (55) 56233600 ext.8745, <http://www.agua.unam.mx/impluvium.html>, [jarriagam@iingen.unam.mx](mailto:jarriagam@iingen.unam.mx). Editor responsable: M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina. Reserva de Derechos al uso Exclusivo: en trámite., ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Red del Agua UNAM, M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Instituto de Ingeniería, edificio 5, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México fecha de la última modificación, Junio 2024.

## CONTENIDO



### Introducción . . . . . 2

José Pablo Murillo, Ruth Mathews

## ARTÍCULOS

### INTAKE VARIATION EFFECT ON WATER QUALITY FOR A SEA WATER REVERSE OSMOSIS (SWRO) PLANT. . . . . 8

Nour FAWAL, Jalal HALWANI y Baghdad OUDDANE

### IMPACTOS DE TRONCOS Y PALOTADAS DE LOS RÍOS EN VERACRUZ, LA ANTIGUA Y JAMAPA SOBRE LAS CRESTAS Y LAGUNAS DE ARRECIFES CORALINOS. . . . . 19

Virgilio Arenas Fuentes, Jorge Luis Hernández Aguilera  
y Jorge Luis Hernández Toral

### Impacto de los contaminantes emergentes microplásticos de la cuenca baja del río Jamapa al Sistema Arrecifal Veracruzano. . . . . 27

Fabiola Lango Reynoso, María del Refugio Castañeda Chávez,  
Isabel Araceli Amaro Espejo y Jesús Montoya Mendoza

### De la cuenca a la costa: un panorama del efecto de las actividades antropogénicas en ecosistemas acuáticos . . 35

Jahir Aguerrebere González, Kimberly Mendivil García,  
Leonel Ernesto Amábilis Sosa  
y Cindy Zulema Bustamante Hernández





**Acuíferos costeros: descarga de agua subterránea en el Sistema Arrecifal Veracruzano . . . . . 44**

Alejandro Muñoz-Aldape, Jesús Montoya-Mendoza, Fabiola Lango Reynoso, María del Refugio Castañeda Chávez, Benigno Ortiz Muñiz y Virgilio Arenas-Fuentes

**Flujos de Agua subterránea en las costas y mares de México. . . . . 51**

Virgilio Arenas-Fuentes, Alejandro Muñoz-Aldape y Iris Neri-Flores, Jorge Luis Hernandez

**Impacto de las actividades productivas en el Golfo de California: Diagnóstico sistémico desde la complejidad . . . . . 58**

Norma Elizabeth Olvera Fuentes y Fernando J. González Villarreal

**Calidad del agua y estado trófico del río Usumacinta y sus principales tributarios en función a diferentes usos del suelo en la cuenca, durante dos temporadas hidrológicas extremas . . . 66**

Jorge Ramírez-Zierold, Julio Díaz-Valenzuela, Jaqueline Hernández-Ángeles, Berenice Juárez-Granados, Sergio Castillo-Sandoval, Patricia Valdespino-Castillo, Mariel Barjau-Aguilar, Óscar Gerardo-Nieto y Martín Merino-Ibarra.



# INTAKE VARIATION EFFECT ON WATER QUALITY FOR A SEA WATER REVERSE OSMOSIS (SWRO) PLANT



**NOUR FAWAL**

UNIVERSITÉ DE LILLE, LABORATOIRE LASIRE, FRANCE  
HUTA MARINE WORKS LTD, KINGDOM OF SAUDI ARABIA

**JALAL HALWANI**

LEBANESE UNIVERSITY, WATER & ENVIRONMENT SCIENCE LAB, TRIPOLI, LEBANON

**BAGHDAD OUDDANE**

UNIVERSITÉ DE LILLE, LABORATOIRE LASIRE, FRANCE

## Abstract

A well-designed SWRO intake not only yields good water quality in feed which helps to minimize the pretreatment, but also results in a significant saving in capital investment and operation cost. In the purpose of constructing a new SWRO, we have realized different types of open intake, following the site situation and operation conditions: construction failure, Coast Guard rules, and nature obligation. For each faced problem, technical solutions

have been adopted to get the best SDI before feeding the membranes by water.

Therefore, the water quality parameters (Conductivity, Temperature, pH) are directly related to the effect of the intake point distance from coast, the effect of the intake depth point, and following the low and high tide. A parametric field investigation on the effect of the above variables was carried out, and depending on the water quality results, the intake has been modified to finally meet with the required parameters.

**Keywords:** Desalination – Reverse Osmosis – Intake – Water quality.



## Introduction

Most of the mega cities were found along the coasts, these regions are experiencing mild to severe water stress. The increasing population as well as unavailability of abundant fresh water, especially in the Arab Gulf area, has forced national authorities to make sweet water from sea water. According to the World Bank (De Waal, 2023), over 70% of worldwide desalinated water is in the GCC countries (Saudi Arabia, Kuwait, Qatar, Bahrain, Emirates, Oman). In many Middle East and North Africa countries, 85% of water is consumed by the agriculture sector and has been using Desalination to supply more than half of all water needs (World Bank, 2018). Seawater desalination is based on Reverse Osmosis or Thermal Technologies; Reverse Osmosis (RO) being dominant in the market due to its better energetics and lower footprint, it turns out to be the most economical and easy to operate technology which can be implemented very small 1000 LPH capacity to mega capacity plants as Taweehah (UAE), the world's largest standalone sea water

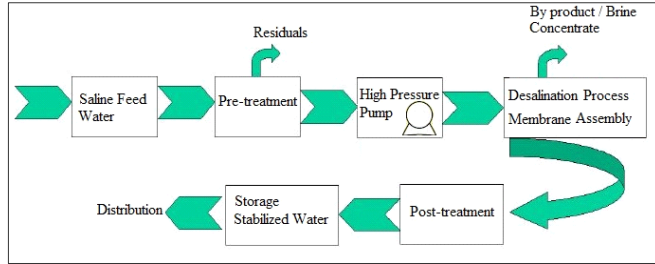
Reverse Osmosis plant (909,200 m<sup>3</sup>/day) inaugurated in 2022.

Saudi Arabia is home to 30 percent of the world's desalination capacity (Tlili, I., & al, 2020); water desalination has doubled over the past decade to reach 2.2 billion cubic meters in 2021, up from 1.1 billion cubic meters per year in 2010, thanks to a major overhaul of some existing plants and the introduction of new technologies KSA is now the world's largest producer of desalinated water with desalination meeting 70% of the country's present drinking water requirement. Additional investment in this technology is planned in the countries of the Gulf and elsewhere. Several countries outside the Gulf have also invested in this technology and contribute to the technical innovations.

RO is a desalination membrane process that has been commercially used since the early 1970s (Darre et al. 2018). The typical single-pass SWRO system consists of the following components: Intake (Feed Seawater), Pretreatment, High pressure Pump, RO Membrane Banks, Post treatment

(Remineralization, pH adjustment & Disinfection), Storage and Distribution (See Figure 1).

Figure 1: Basic RO stage



## Development: Materials & Methods

### Site description

Rabigh is situated on the coast of the Red Sea, around 208 km northwest of Mecca (KSA). The seabed of Rabigh beach is quite unique and has strange characteristic of keeping the same seabed ground level of -1 to -2m under sea level from 5m from shoreline till around 30-40 m from shoreline; then, the seabed ground level suddenly drops to

deeper bottom (-6 to -9 m from sea level, depending on the zone). Then these deep keeps increasing normally if we go far away from the shoreline.

This information was essential, since it helped us a lot:

- To get the clean water, the intake pipeline must be aligned far away from the shoreline, (minimum distance of 80 m from the intake pumping room. The best zone is located 95m from shorelines where we could get 9 meters of water column above the intake pipeline, and (10 – 11 meters) to the sea ground level.
- The almost stable seabed ground level for the first 40 meters helped us a lot by reducing the huge cost of intake installation, we have used small cement base.
- We are getting the water from a far point from the shoreline, around 70 water samples have been taken, and the bacteria test showing the total absence of any kind of bacteria in that zone.
- The available aqua organisms are essentially the big fishes, which will greatly help us with the screen maintenance and cleaning procedure.

- No boat or ship movement has been noticed in this area; the nearest boat/ship activities are 2 km away.
- The sea water was so stable and had excellent clarity, the turbidity was around 0.54 – 0.67 NTU.

The intake system is mounted at the end of the intake pipe, at about 1 to 2 m below sea level, a screen is backwashed with air to prevent solids from clogging the screen surface.

### Initial installation of the open intake pipe

At the first time, due to construction obligation, the sub-contractor has installed the intake pipe by lying down the pipe along with the seabed ground level,

the opening side has been kept horizontal. Even that it was not at all the perfect situation to run the intake or the plant, the stakeholder has insisted to run the plant with the actual situation due to the deadline approach and penalty to be taken in consideration.

At this running condition, the results are shown in Table 1.

We have operated several open intake modifications to get the best results (SDI, Conductivity, pH, and Temperature) concerning the quality of seawater. For all the analysis, each mentioned data is the daily average of four measures (2 in the day and 2 in the night) taken for each parameter.

Installation conditions		Results	Value	Average	Average lag	Max. gap
Pipe position	Pipe lie down	SDI	7.16 - 8.12	7.5		
Distance from shoreline	13 – 15 m	Conductivity	42.84 – 43.36 mS/cm	43.12	0.23%	0.49%
Distance to ground sea level	30 cm	pH	7.7 - 8.3	7.88	1.32%	3.27%
Water column above pipe	60-80 cm	Temperature	28.1 - 35.4 °C	31.9	4.68%	10.65%

**Table 1: Results for Intake initial installation**

## Development: Results

3.1 A modification has been applied by extending the GRP intake pipes, and the results of new situation are shown in Table 2.

3.2 In order to get better water quality, a decision has been taken to more extend the intake pipe, and the new situation give more the results in Table 3.

Installation conditions		Results	Value	Average	Average lag	Max. gap
Pipe position	Inside sea	SDI	5.7 - 7.1	6.5		
Distance from shoreline	40 m	Conductivity	39 - 43 mS/cm	41.5	0.61%	3.24%
Distance to ground sea level	5 - 6 m	pH	7.5 - 8.7	7.96	0.97%	2.99%
Water column above pipe	3 m	Temperature	26.8 - 33.8 °C	30.9	3.16%	9.24%

**Table 2: Results obtained after modification to GRP intake**

Installation conditions		Results	Value	Average	Average lag	Max. gap
Pipe position	Inside sea	SDI	5.0 - 5.9	5.5		
Distance from shoreline	90 m	Conductivity	38.9 - 41.9 mS/cm	40.5	0.88%	3.33%
Distance to ground sea level	12 - 15 m	pH	7.6 - 8.9	8.1	1.59%	5.79%
Water column above pipe	8 - 9 m	Temperature	24.4 - 32.1 °C	29.1	3.26%	13.77%

**Table 3: Results obtained after second modification to GRP intake**

3.3 - Due to coast guard regulations, we have been forced to remove the intake pipe from the sea and replace it near the coast! With the only 2 meters allowed from the coastline thus we could not get any deep in the sea water, we suffered from the worst running intake condition; in fact, many particles near the beach, sand, small stone, and air were able to penetrate with the raw feed water, the awful intake raw water quality was so bad, and the results obtained are shown in Table 4.

3.4 To resolve the problem, a natural filtration system has been created by using the natural stone from desert and sea; small stone (gravel) has been

used to completely cover the intake open end, then it has been covered by the medium stone, finally huge stones have been installed at the opening side of the intake pipeline.

In this situation, and after running the intake pumps for more than 6 hours, we got better raw water quality, big part of sand and particles has been eliminated, and the quantity of sand and particles has been greatly reduced by 80 %. Or we were still facing the problem of the hot water which will affect the conductivity and TDS of the feed water as it is indicated in Table 5.

Installation conditions		Results	Value	Average	Average lag	Max. gap
Pipe position	Pipe lie down	SDI	7.7 - 11.7	10.37		
Distance from shoreline	2 m	Conductivity	41.1 - 53.7 mS/cm	47.69	0.70%	2.81%
Distance to ground sea level	5-10 cm	pH	7.5 - 8.9	8.2	1.1%	2.73%
Water column above pipe	0-20 cm	Temperature	25.3 - 31.2 °C	28.7	2.4%	8.02%

**Table 4: Results obtained after modification intake due to the official requirements**

Installation conditions		Results	Value	Average	Average lag	Max. gap
Pipe position	Pipe lie down + filtration	SDI	9.1 - 10.8	10		
Distance from shoreline	2 m	Conductivity	42 - 47.6 mS/cm	45.29	0.60%	2.20%
Distance to ground sea level	5-10 cm	pH	7.5 - 8.1	7.8	1.0%	4.53%
Water column above pipe	0-20 cm	Temperature	20.2 - 29.2 °C	26.2	3.5%	14.48%

**Table 5: Results obtained after new position of GRP intake**

3.5 The research and site investigation continued to adopt a better solution and try to find other possible modifications that may improve the arrival sea water from the intake. We concluded that the best solution was on the modification of the sea ground level at the intake. Therefore, we planned to dredge the sea ground at the intake location to make it deeper at the shoreline, but the main problem resides in the dredging effect on the marine coast. In fact, when the dredge work finished, the dredging will leave a huge milky water which needs long time to settle down, and may affects wide zone of the coast, not only the dredging area, also the nearby area specially those located in the direction of the sea water currents. For this reason, we took the decision to

avoid dredging in the actual zone of the intake, and to switch the dredging to another new zone which will be the new intake (See Figure 2).

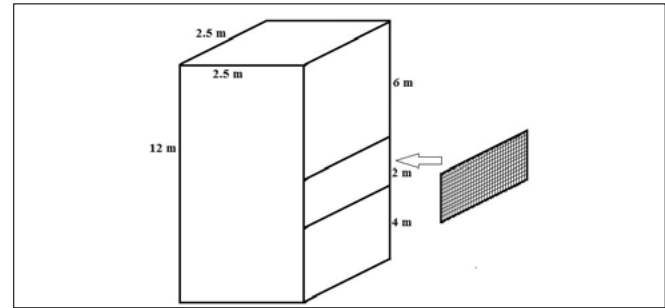
**Figure 2: Intake old and new location**



The work strategy resides on the following steps:

- The area to be dredged is estimated to be a rectangle area (average dimension 20 m \* 10 m \* 12m deep).
- 2 huge pumps to be installed in the dredging area to quickly remove the milky water.
- Innovation of a specific manhole (See Figure 3) to be installed in the new intake dredged zone. The manhole specifications are: dimensions 2.5 x 2.5 x 12 m; the side facing the sea has a mesh 2.5 x 2m starting from 4 meters at the bottom; the other three sides are totally closed. The East side (facing the coast) has a circular opening diameter to connect the GRP pipe coming from the pumping room.

**Figure 3:**  
**The design of the intake manhole.**



After moving to the new location, the results obtained are shown in Table 6.

Installation conditions		Results	Value	Average	Average lag	Max. gap
Pipe position	Inside manhole	SDI	6 - 10.6	8.7		
Distance from shoreline	2 m	Conductivity	41.7 – 48.9 mS/cm	44.98	0.70%	2.84%
Distance to ground sea level	4 m	pH	7.7 - 8.4	8	0.8%	3.00%
Water column above pipe	6 m	Temperature	20.1 - 28.3 °C	25.5	2.3%	15.90%

**Table 6: Results obtained after the installation of manhole**



3.6 Based on the fact that using the gravel and natural stone have greatly improved the conductivity, we would like to adopt and try it inside the existing manhole and overmuch look like the situation of the fourth modification. The final optimized results are shown in table 7.

### Development: Discussions

The results have been recapitulated in the table 8 below. The pH levels were almost the same. Ins-

tead, the deeper we go coupled with being far from shoreline, the better water quality in term of conductivity reading and SDI analysis. Finally, concerning the temperature, we could not get real concept since the variation of temperature is not only related to the intake modification, but also to the season's variation of temperature.

Installation conditions		Results	Value	Average	Average lag	Max. gap
Pipe position	Inside manhole + filtration	SDI	6.5 - 7.7	7.3		
Distance from shoreline	2 m	Conductivity	39 - 44.6 mS/cm	43.16	0.50%	2.79%
Distance to ground sea level	4 m	pH	7.1 - 8.5	8.2	0.70%	2.62%
Water column above pipe	6 m	Temperature	24.2 - 30.8 °C	27.6	2.20%	10.40%

**Table 7: Final Results obtained after the optimization of the installation**

Period	Situation of intake	Point depth	Far from coast	Conductivity mS/cm	SDI	pH	T °C
18-25/09	Near coast along with seabed	0.8 m	14 m	43.12	7.5	7.9	32
5-18/10	In the depth sea water/6m seabed	3 m	40 m	41.46	6.5	7.9	31
27/10-27/11	In the depth sea water/12m seabed	9m	90 m	40.50	5.5	8.1	29
5-17/12	Near the coast /30 cm from seabed	0 m	2 m	47.69	10.4	8.2	29
23/12 – 10/1	Near coast + gravel and stone	0m	2 m	45.29	10	7.8	26
1-24/02	Near coast + manhole	8 m	2 m	44.98	8.7	8	25
4/3 – 4/5	Near coast+manhole+gravel+stone	8 m	2 m	43.16	7.3	8.2	28

**Table 8: Recapitulative results for the different situation and modification.**

## Conclusion

This study proved that with the offshore open intake and respecting the sea water depth intake point, we could get clean water with high quality and almost free from pathogen leading to the best running condition of the SWRO plant, therefore we have smooth running of the whole systems, the recovery rate was around 35%, and we noticed a long-life working period of the cartridge filter. 💧

## References

Darre, N.C., Toor, G.S. (2018). Desalination of Water: A Review. Current Pollution Reports 4, 104-111. <https://doi.org/10.1007/s40726-018-0085-9>

De Waal D., Khemani S., Barone A., Borgomeo E. (2023). Overview from The Economics of Water Scarcity in the Middle East and North Africa: Institutional Solutions, World Bank Group. [doi: 10.1596/978-1-4648-1739-7](https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1739-7).

Tlili, I., Alkanhal, T.A., Othman, M. et al (2020). Water management and desalination in KSA view 2030. J Therm Anal Calorim 139, 3745-3756. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08700-z>

World Bank (2018). Beyond Scarcity: Water Security in the Middle East and North Africa. MENA Development Report; Washington DC: World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/27659>.

# IMPACTOS DE TRONCOS Y PALOTADAS DE LOS RÍOS EN VERACRUZ, LA ANTIGUA Y JAMAPA SOBRE LAS CRESTAS Y LAGUNAS DE ARRECIFES CORALINOS.

**VIRGILIO ARENAS FUENTES**  
UNIVERSIDAD VERACRUZANA

**JORGE LUIS HERNÁNDEZ AGUILERA,**  
**JORGE LUIS HERNÁNDEZ TORAL**  
ESTUDIO Y CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA, A. C.



## Resumen

La región hidrológica 28, denominada Papaloapan, ha experimentado un intenso proceso de deforestación durante las últimas décadas, debido a las actividades antrópicas como la técnica de “roza-tumba-quema”, utilizada para habilitar terrenos tanto para cultivos como para la introducción de ganado vacuno y caprino; la extracción forestal y el establecimiento de nuevos poblados. Como resultado, se ha producido una pérdida de más del 85% de la cubierta vegetal original.

La continua deforestación en las cuencas de los ríos La Antigua y Jamapa ha provocado

un aumento del arrastre de troncos y palizadas durante las lluvias, tormentas y huracanes. Éstos son transportados a través de los caudales hacia las desembocaduras al mar y, debido a las corrientes marinas costeras, hacia las crestas y lagunas de los arrecifes coralinos del área natural protegida “Sistema Arrecifal Veracruzano”. Al arribar a los arrecifes, los troncos y palizadas tienen un impacto severo sobre las crestas y las cabezas de coral de las lagunas arrecifales. Se estima que si estos impactos persisten, los arrecifes continuarán deteriorándose de manera sostenida.

## Introducción

La Región hidrológica 28 (Papaloapan), conformada por las cuencas de los ríos La Antigua, Jamapa, Actopan y Papaloapan, descargan, en conjunto, 44,829 millones de metros cúbicos por año. Las dos primeras cuencas desembocan en el Golfo de México, a través de la Barra de Chachalacas en Boca La Antigua y la segunda en la población de Boca del Río (Pereyra Díaz *et al.*, 2010). Ambas cuencas, desde hace décadas, han sufrido una constante degradación por las diversas actividades antropogénicas, como el proceso de “roza-tumba-quema” empleada para la agricultura temporal, la ganadería o el desarrollo urbano. En consecuencia, la vegetación de bosques y selvas ha disminuido en alrededor del 85%, lo que ha ocasionado la reducción o incluso la desaparición de zonas de manglares y ha provocado alteraciones tanto físicas como químicas en la composición de los suelos. (SEMARNAT-CNA, 2021).

Estudios recientes de las cuencas muestran que palizadas, troncos y tuncos (restos de raíces de árboles talados) se acumulan en las pendientes

y barrancas, donde con frecuencia hacen un efecto de taponamiento que es liberado violentamente por las lluvias torrenciales de tormentas. Las grandes palotadas descienden por los ríos, se acumulan en los esteros y, con las crecidas y las mareas, eventualmente salen al mar. Ahí son transportados mar afuera y dispersados por las corrientes superficiales. Finalmente, son trasladados de manera convergente hacia los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), donde se enfrentan a la cresta coralina. Otros, cruzan por las lagunas arrecifales y son trasladados a las islas o a la zona costera donde arriban masivamente a las playas.

Este proceso muy significativo para los arrecifes costeros y fue menor antes de que se iniciara el proceso de deforestación de las cuencas, cuando los troncos y palizadas solo provenían de los deslaves de las orillas y de las fuertes pendientes durante las lluvias y huracanes.

## Desarrollo

En los márgenes de los ríos La Antigua y Jamapa, se realizaron diversas observaciones para deter-

minar el tipo y las características de las palizadas y troncos presentes. Posteriormente, en diciembre de 2014 y en febrero de 2015, se efectuó un estimado de las características y magnitud de las palizadas y troncos en la playa y arrecife de Punta Gorda, sitio donde se construye el nuevo Puerto de Veracruz.

Para la evaluación terrestre, se recorrieron 4 km de playa, dividiéndola en cuatro cuadrantes de 100 metros de longitud por 50 metros de diámetro. Dentro de cada cuadrante, se procedió a cuantificar, medir y caracterizar en detalle las palizadas y troncos. Posteriormente, se utilizó un Drone Phantom 2 DJI integrado con una cámara GOPRO Hero 4, para capturar fotografías y video filmaciones en 4k a una velocidad de hasta 30 cuadros por segundo. El área de estudio aéreo abarcó 2 km de playa, divididos en 5 sectores de 400 metros de longitud cada uno. Así mismo, se llevó a cabo una simulación computacional para modelar el comportamiento de los troncos en el mar, desde su origen en el río La Antigua hasta su llegada a las playas, pasando por las crestas arrecifales. La simulación se basó en simuladores de flotabilidad neutra, permitiendo

comprender mejor la dinámica de transporte de estos elementos.

En las mediciones se consideraron ramas ( $\leq 10$  cm de diámetro y  $\leq 1$  m de largo) y troncos ( $\geq 11$  cm de diámetro y  $\geq 1.1$  m de largo).

## Conclusiones

Los conteos revelaron que el 63% de los elementos acumulados son ramas, mientras que el 37% restante corresponde a troncos. La longitud promedio de los troncos es de 2.13 metros, con algunos ejemplares que superan los 8 metros de longitud (Véase Figura 1). Muchos de los troncos presentan evidencias visibles de corte, mientras que otros, aquellos que conservan sus raíces, a veces albergan entre ellas cantos rodados y rocas basálticas, lo que indica el origen de los materiales. Se estima que en un tramo de 4 kilómetros de playa se encuentran, en promedio, 15.720 troncos, con una longitud promedio de 2 metros, lo que equivale a una extensión lineal de 30 kilómetros de troncos acumulados.

El análisis de las cuencas revela que las palizadas y troncos tienden a acumularse en las barran-

Figura 1.- Tronco arribado a zona de playa en Veracruz, Ver.



cas, donde con frecuencia actúan como represas naturales. Estas acumulaciones son susceptibles de ser liberadas repentinamente durante las fuertes lluvias asociadas a tormentas, generando flujos torrenciales que arrastran consigo los materiales acumulados.

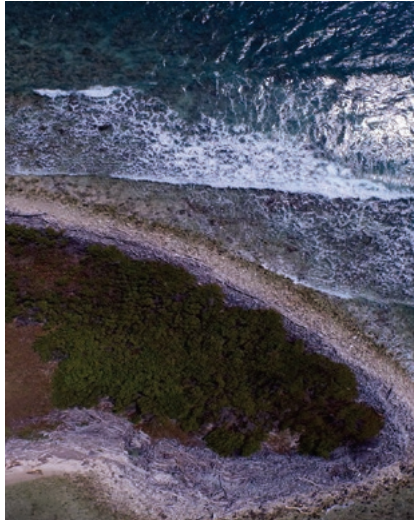
Las palotadas descienden por los ríos, acumulándose en los esteros. Con las crecidas y las mareas, son arrastradas hacia el mar, donde su transporte se ve influenciado por las corrientes fluviales y superficiales, eventualmente, son trasladados de manera convergente hacia los arrecifes del SAV, donde se enfrentan a la cresta coralina, la cual muchas veces es rota y así sobrepasada. Además impactan directamente a las cabezas individuales de los corales en las lagunas arrecifales.

Muchos troncos y palotadas son trasladados hacia el interior arrecifal, acumulándose en las islas arrecifales (véase Figura 2). Otros, en cambio, son arrastrados hacia la zona costera, donde arriban masivamente a las playas (véase Figura 3) tras superar las crestas de los arrecifes costeros y la deriva litoral.

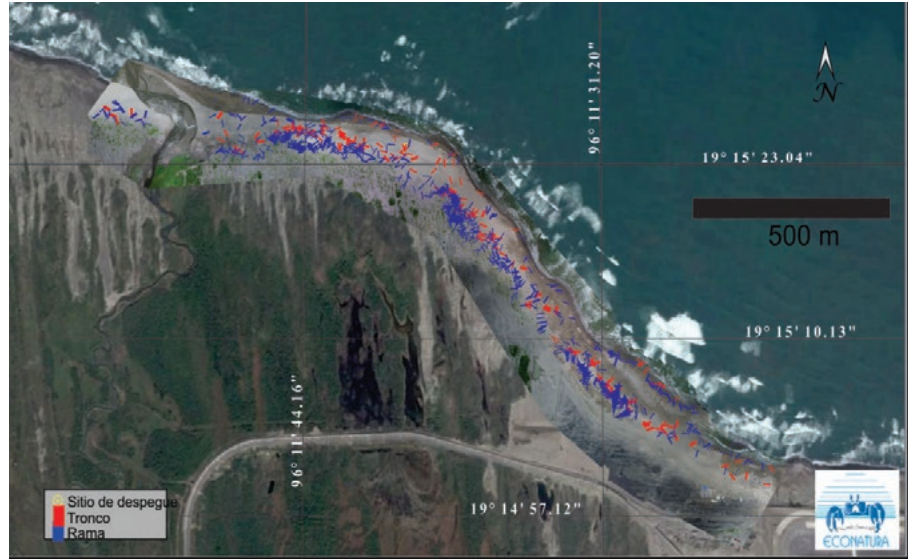
Este proceso es muy significativo y aunque probablemente, fue menor antes de que se iniciara el proceso de deforestación de las cuencas. Los arrecifes e islas del SAV muestran con claridad estos procesos que vienen acompañados de otros efectos colaterales con la deforestación, como el aumento



**Figura 2.- Acumulación de troncos y palizadas en isla Verde, Veracruz.**



**Figura 3.- Arribazón de troncos en la playa de Punta Gorda, Veracruz.**



de aportes de materiales terrígenos en un estimado mínimo de 500 veces por erosión y destrucción de los suelos, constituido por arenas, limos y arcillas, partículas en suspensión menores a 63 micrones que tienen un profundo impacto sobre los pól-

pos de los corales. También, de las cuencas y de la zona costera alterada proceden: materia orgánica, nutrientes, pesticidas-insecticidas, hidrocarburos, PCBs, bacterias coliformes, etc.

El aporte violento de troncos y palotadas y sus efectos inesperados, han sido estudiados y cuantificados en diversas formas y presentados en foros académicos nacionales e internacionales. Sin embargo, el efecto destructivo de los mismos sobre la estructura y funcionalidad de los arrecifes, ha sido descrita recientemente como el “*efecto Knockout*”, por el golpe estructural sobre los cabezos arrecifales (Arenas *et al.* 2012) y publicado recientemente como uno de los efectos antrópicos en la isla Verde del SAV (Arenas Fuentes, *et. al* 2022).

La descripción estructural de los arrecifes costeros suele mencionar la presencia de canales de acceso tipo “Grooves” y zonas elevadas y resistentes en la cresta arrecifal conocidas como “Spurs”. Estos rasgos son producto de la historia evolutiva de los arrecifes (ver a Roger *et al.*, 2013). Con frecuencia en los grooves (dos a tres metros de profundidad), se observa arena y un desarrollo biológico limitado. Los Spurs son zonas elevadas (intermareal) que reciben el impacto del oleaje y marcan las zonas de rompiente; normalmente están colonizados por especies coralinas redondeadas, algas coralinas,

esponjas, anémonas, erizos, etc. Hacia adentro del arrecife, en la laguna arrecifal, estas estructuras se juntan mediante suaves elevaciones de la pendiente de los grooves y la frecuente abrupta caída de la cresta arrecifal. Es frecuente encontrar en el interior de la laguna dobles rompientes formadas por la acumulación de material coralino y zonas rocosas del mismo material (esqueletos coralinos).

El efecto hidrodinámico de estas particularidades, en la estructura arrecifal, es muy relevante para explicar la condición actual y futura de estos núcleos de biodiversidad al permitir o favorecer el establecimiento de determinadas especies, retener o acelerar el flujo del agua y con ello la productividad primaria derivada del reciclaje de nutrientes, los materiales en suspensión y por supuesto el reclutamiento, dispersión y vinculación ecológica con los arrecifes de mar adentro.

El “efecto knockout” debido al impacto de los troncos, es el factor principal determinante de estos rasgos estructurales. Los objetos a la deriva, como los troncos, son orientados por el oleaje regular de tal manera que facilitan la llegada longitudinal

sobre las crestas de los spurs y cuando las condiciones no son de tormenta, no alcanzan a impactar suficiente para romper la estructura arrecifal, pero sí la modelan siendo trasladados por el oleaje a lo largo de la cresta, determinando principalmente la naturaleza de los tipos de coral, favoreciendo aquellos de formas redondeadas, que resisten los suaves impactos o permiten al tronco pasar la rompiente sin dañar la estructura arrecifal. Otros al ser trasladados por el oleaje a lo largo de la cresta, llegan hasta un groove lo suficientemente adecuado para su incorporación al interior arrecifal. Este sistema

constituye un estadio estable adaptativo ante los efectos del impacto de troncos y palotadas que probablemente en condiciones de baja intensidad, durante años sucesivos, permite el desarrollo de especies de coral más arborescentes que serán las más afectadas en tiempos de alta intensidad del efecto. Bajo condiciones de baja intensidad y simulando físicamente la presencia masiva de troncos de impacto “cero”, es factible observar como el movimiento de los objetos flotantes marcará la estructura arrecifal caracterizada por “*spurs and grooves*”. ♦

## Bibliografía

Arenas-Fuentes, V., Hernández-Aguilera, J.L. & Hernández-Toral, J.L. (2022). Adaptación del antropoceno: el caso del arrecife Verde. En Arenas-Fuentes, V. y Hernández-Aguilera, J.L. (Cord.) *Ecología y el Antropoceno en el arrecife Verde: un elemento del complejo arrecifal veracruzano* (363-377). México: Universidad Veracruzana.

Arenas, V., Lozano, M.A., & Salas Monreal, D. (2012). efectos del huracán Karl en los arrecifes coralinos del sistema Arrecifal Veracruzano. En Tejeda Martínez, A. y Arenas Fuentes, V. (Cord.) *Las Inundaciones de 2010 en Veracruz. Vol. II La biósfera, escenarios y herramientas*. Colección la Ciencia en Veracruz.

Pereyra Díaz, D., Pérez Sesma, J. A. A., & Salas Ortega, Ma. del R. (2010). *Hidrología*. Universidad Veracruzana, Gobierno del Estado de Veracruz. Vol. 1: 85-122.

SEMARNAT-CNA. (2021). *Programa Hídrico Regional 2021-2024, Región Hidrológica-Administrativa X Golfo Centro*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua. 197 pp.

Rogers, J. S., Monismith, S. G., Feddersen, F., & Storlazzi, C. D. (2013). Hydrodynamics of spur and groove formations on a coral reef. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118: 1-15.

# IMPACTO DE LOS CONTAMINANTES EMERGENTES MICROPLÁSTICOS DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JAMAPA AL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO

FABIOLA LANGO REYNOSO,  
MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ,  
ISABEL ARACELI AMARO ESPEJO,  
JESÚS MONTOYA MENDOZA  
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO,  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO, VERACRUZ.



## Resumen

La calidad del agua en la cuenca hidrográfica del río Jamapa se ha visto afectada negativamente por diversas cargas contaminantes. Esta situación se presenta a lo largo de su recorrido, desde las zonas altas de las montañas hasta su desembocadura en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). Los principales causantes de esta problemática son el crecimiento poblacional desmedido, el cambio inadecuado del uso del suelo, la falta de educación ambiental y la escasa conciencia sobre la importancia de la protección de este recurso vital. Un claro ejemplo de la contaminación en la cuenca

es la presencia de microplásticos. Estos diminutos fragmentos de plástico, menores a 5 micrómetros, han sido identificados en las matrices de agua, sedimentos y organismos en la cuenca baja del río Jamapa, el Arroyo Moreno y el PNSAV. Entre los tipos de microplásticos más comunes se encuentran las fibras, fragmentos, filamentos y esferas.

## Introducción

En México la cuenca del Río Jamapa brinda diversos servicios ecosistémicos, la cual ocupa un área de 4,061 km<sup>2</sup>. El cauce del río tiene una longitud de

3,918 km<sup>2</sup> y un escurrimiento natural medio superficial de 2,055 hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>. La importancia de la cuenca del Río Jamapa se debe a la disponibilidad de los recursos hídricos para diversas actividades productivas, entre ellas agricultura y ganadería. Sin embargo, esta cuenca es receptora de escurrimientos agrícola, pecuario y de aguas negras no tratadas o tratadas parcialmente, las cuales poseen altos niveles de minerales y compuestos orgánicos, además de residuos de plaguicidas, fertilizantes y contaminantes emergentes como son hormonas, antibióticos y microplásticos etc., lo cual afecta la calidad del agua.

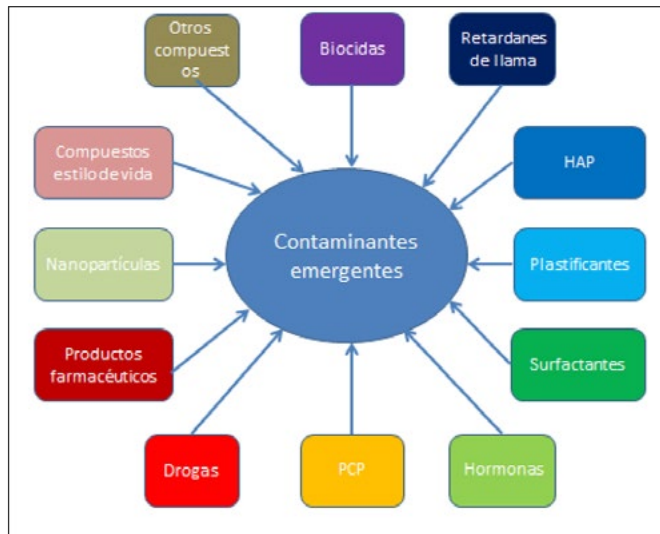
El río Jamapa también forma parte del sistema hidrográfico del estado de Veracruz, México y desemboca en el Golfo de México, radica en que es un sistema estuarino cuyas descargas y nutrientes llegan al Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), el cual cuenta con 50 arrecifes de coral (Leaño-Carrera *et al.*, 2019).

Las cuencas se delimitan por la función de captación y regulación del agua, se subdividen en unidades espaciales o zonas funcionales a partir

de la función hídrica particular que desempeñan y que están interrelacionadas entre ellas (Garrido *et al.*, 2010). Estas zonas son: **Cuenca Alta:** se caracteriza por ser el área de colecta o captación de agua, la cual es filtrada y se concentra en escorrentías. **Cuenca Media:** es un área de función mixta, ya que el agua se colecta y almacena, pero también se desaloja. Es una zona de transición entre la Cuenca Alta y la Baja. **Cuenca Baja:** es la zona de deposición y descarga de la cuenca; en esta área, la pendiente es muy suave o nula, es el área de salida o emisión de la cuenca, comprendiendo las planicies de inundación ordinaria y extraordinaria, que se conecta a la zona costera (*Véase Figura 1*).

La cuenca baja del Río Jamapa es una de las cuencas hidrológicas de Veracruz que se encuentra con un alto impacto ambiental o afectada negativamente por actividades agropecuarias, de acuacultura, y pesca que se desarrollan en ella, además de otras actividades antropogénicas urbanas como el cambio de uso de suelo; mismas que se expresan en forma de fuentes de contaminación puntuales y difusas. Éstas usualmente pueden verter diferentes

**Figura 1. Zonificación altitudinal de la cuenca hidrológica del río Jamapa.**



contaminantes de diversa naturaleza que pueden ser físicos, químicos o biológicos; de los cuales, en su mayoría, se encuentran regulados en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites máximos permisibles de con-

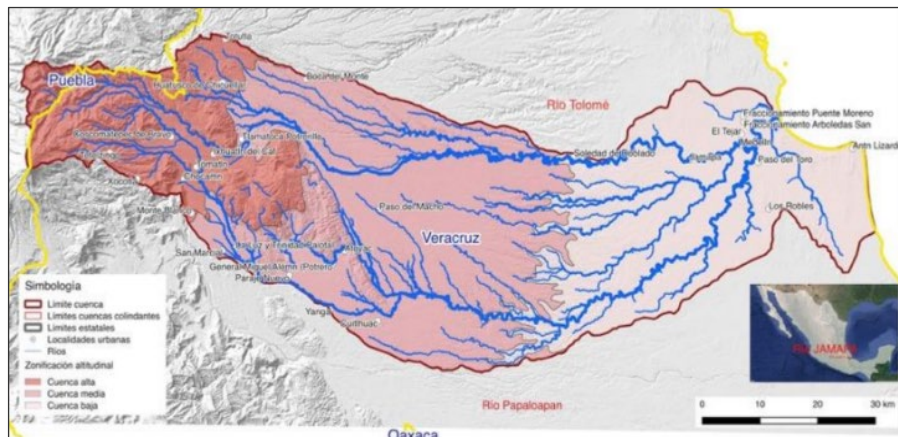
taminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales; esta norma no considera las contaminantes emergentes (Véase Figura 2).

Los términos “contaminante emergente”, “microcontaminante” o “contaminante emergente de alta preocupación” están relacionados con los grupos de productos químicos conocidos o de reciente creación, que incluyen productos para el cuidado personal, compuestos farmacéuticos, compuestos disruptores endocrinos, hormonas, edulcorantes artificiales, retardantes de llama bromados y clorados; herbicidas, subproductos de la desinfección, plastificantes, sustancias preservantes de madera, detergentes, nanopartículas y microplásticos.

Los microplásticos por su origen se clasifican en dos: a) microplásticos secundarios: se producen por el desgaste al final de la vida útil de residuos plásticos (bolsas de plástico, envases y otros objetos, etc.), especialmente por la erosión (Free *et al.*, 2014). b) microplásticos de uso primario o intencional: son piezas creadas específicamente para un uso directo, como las “microesferas” utilizadas en exfoliantes cosméticos y productos de limpieza.



Figura 2. Contaminantes emergentes.



Las fuentes más citadas son los textiles sintéticos (la mayor fuente de esta categoría, con 6 millones de fibras para una carga de 5 kg de ropa) (De Falco *et al.*, 2018), las redes de pesca y ciertas pinturas utilizadas en los barcos o en la señalización vial, micropartículas de los neumáticos resultantes de su desgaste (UICN, 2017; Frère, 2017).

## Desarrollo

En la Cuenca hidrológica del río Jamapa se localizan 22 municipios del estado de Veracruz y tres de Puebla; los municipios que compren-

den la cuenca baja son Veracruz, Boca del Río, Medellín de Bravo, Jamapa, Manlio Fabio Altiriano, Cotaxtla, Paso del Macho y Camarón de Tejeda. De estos municipios, Veracruz, Boca del Río y Medellín de Bravo son los que tienen mayor crecimiento poblacional y actualmente tienen 607,209; 144,550 y 95,202 habitantes según el INEGI, 2020.

Esta población requiere servicios entre los que destacan manejo de residuos sólidos urbanos, agua potable y el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, los sistemas de tratamiento de aguas residuales son pocos eficientes o nulos; lo que ocasiona que las aguas residuales sean vertidas directamente a los efluentes, provocando la presencia de contaminantes emer-

gentes como los microplásticos en los diferentes sistemas de la cuenca baja del río Jamapa. Dentro de estos sistemas está la Reserva Natural Arroyo Moreno donde descargan el agua del Canal de la Zamorana (sistema de transporte de aguas residuales de Veracruz y Boca del Río), conectándose directo al Río Jamapa y al Sistema Arrecifal Veracruzano. Ejemplo de esta conectividad son los resultados de los microplásticos encontrado en estos sistemas producto de las actividades antropogénicas. Véase Figura 3 y 4.

### Conclusiones

La deficiencia en los sistemas de tratamiento de aguas residuales representa una grave amenaza

Figura 3. Diversidad de microplásticos por temporalidad dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz

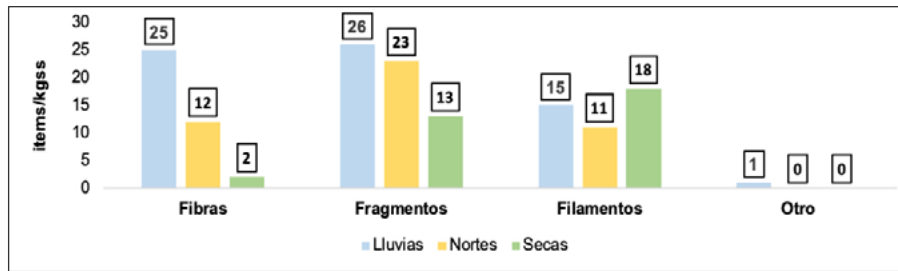
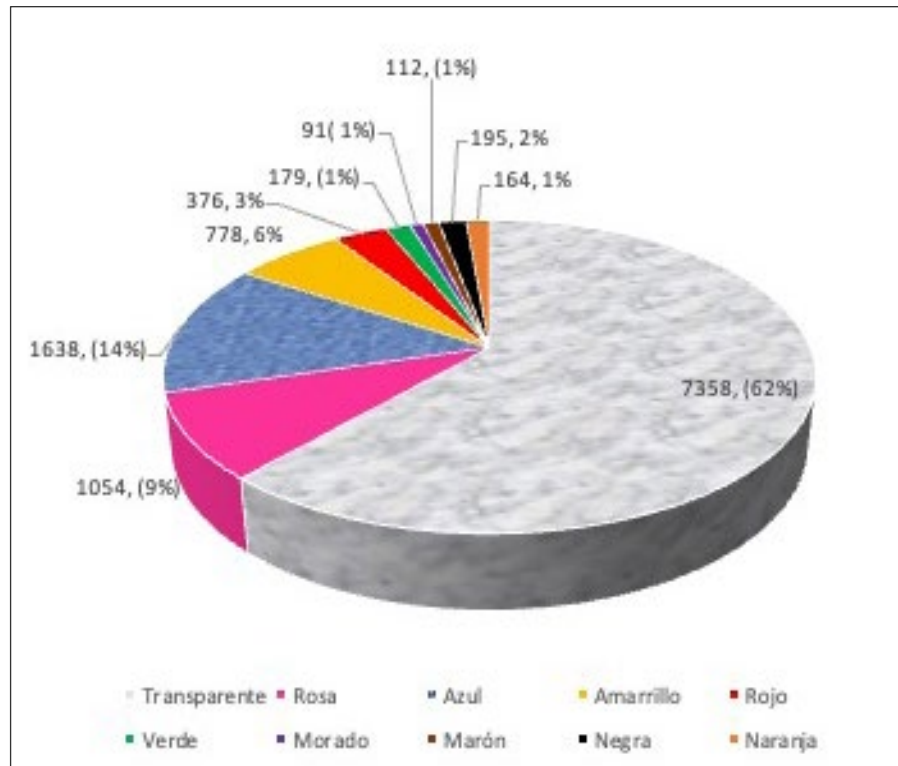


Figura 4. Presencia de microplásticos en muestras de playas del Sistema Arrecifal Veracruzano.



**Figura 5. Porcentajes de microplásticos por color en la cuenca baja del río Jamapa..**



a la seguridad nacional. Esta problemática genera la contaminación de las cuencas hidrológicas, las cuales funcionan como vías directas hacia nuestras zonas costeras y mares. La descarga sin tratamiento de diversos contaminantes provoca severos daños a los ecosistemas marinos, incluyendo la pérdida de hábitat y la extinción de especies.

Ante este panorama, resulta imperativo emprender acciones conjuntas que involucren a la población y al sector gubernamental. Es fundamental generar conciencia sobre la importancia de proteger nuestros recursos hídricos y promover el uso de tecnologías innovadoras para el tratamiento de aguas residuales. En este sentido, las biotec-

nologías, ecotecnologías y tecnologías emergentes ofrecen alternativas prometedoras para abordar de manera eficiente la problemática de las aguas residuales.

La implementación de estas soluciones tecnológicas debe ir acompañada de un marco regulatorio sólido y de políticas públicas que incentiven su adopción. Asimismo, es necesario fomentar la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías adaptadas a las necesidades y realidades específicas de cada región. 💧

### Bibliografía consultada.

De Falco, F., Gullo, M.P., Gentile, G., Di Pace, E., Cocca, M., Gelabert, L., Brouta-Agnésa, M., Rovira, A., Escudero, R., Villalba, R., Mossotti, R., Montarolo, A., Gavignano, S., Tonin, C., Avella, M., (2018). Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. *Environmental Pollution* 236, 916–925. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.057>

Free, C.M., Jensen, O.P., Mason, S.A., Eriksen, M., Williamson, N.J., Boldgiv, B., (2014). High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine Pollution Bulletin* 85, 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.001>

Frère, L., (2017). Les microplastiques : une menace en rade de Brest ? *Sciences de la Terre*. Université de Bretagne occidentale, Brest.

Garrido, A., Pérez Damián, J. L., y Enríquez Guadarrama, C. (2010). Delimitación de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. Pp. 14-17. En: Cotler- Ávalos, H. (coord.). *Las cuencas hidrográficas en México. Diagnóstico y priorización*. Instituto Nacional de Ecología. México D.F.

Instituto Nacional de Estadística Geografía, e Informática INEGI. Censo Nacional Agropecuario. (2020). Disponible en línea: [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)

UICN, (2017). Union Internationale pour la conservation de la nature, Rapport Annuel 2017, <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2018-007-Fr.pdf>

## DE LA CUENCA A LA COSTA: UN PANORAMA DEL EFECTO DE LAS ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

**JAHIR AGUERREBERE GONZÁLEZ**  
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/ITCULIACÁN

**KIMBERLY MENDÍVIL GARCÍA,**  
**LEONEL ERNESTO AMÁBILIS SOSA**  
CONAHCYT - TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/ITCULIACÁN

**CINDY ZULEMA BUSTAMANTE HERNÁNDEZ**  
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/ITSELDORADO



### Resumen

Las fuentes de agua en México son degradadas principalmente por actividades antropogénicas, lo que afecta la calidad del agua. Las cuencas hidrológicas experimentan diferentes efectos dependiendo de las actividades que se realizan en cada una de sus zonas funcionales. En Sinaloa, la producción agroalimentaria y acuícola es considerable, pero las prácticas no reguladas, perjudican la calidad del agua y los ecosistemas, especialmente en la parte baja de las cuencas, donde se acumulan los efectos generados

cuena arriba. La capacidad de autodepuración de estos sistemas acuáticos puede ser evaluada usando modelos matemáticos que permitan cuantificar los efectos de los contaminantes sobre la calidad del agua. Es esencial contar con información técnica que evalúe de manera integral los efectos de la actividad antropogénica desde cuena alta hasta la zona costera, y establecer regulaciones sobre las descargas, evitando la degradación de los ecosistemas costeros, y proteger la biodiversidad del Mar de Cortés.

## Introducción

Las principales fuentes de agua, como los ríos, pueden verse afectadas tanto por factores naturales como por actividades humanas. La distribución e intensidad de dichas actividades antropogénicas, a lo largo de las cuencas, puede influir en los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua.

Una cuenca hidrológica es un área delimitada por donde transita el agua hacia una corriente principal y se divide en tres regiones. La cuenca alta se compone de regiones montañosas, limitada por los parteaguas de la zona. La cuenca media es una zona que generalmente se le conoce por ser un área de transporte y erosión, y la concentración de contaminantes y materia orgánica está en función de las actividades realizadas. Finalmente, la cuenca baja es la zona de descarga en donde el río principal desemboca sobre un lago (cuencas endorreicas) o al mar (cuencas exorreicas). Esta última, se caracteriza por acumular el impacto de toda la cuenca y albergar importantes ecosistemas, principalmente humedales (Véase Figura 1).

Figura 1. Zonas funcionales de una cuenca y los impactos de sus actividades antropogénicas. Fuente (SEMARNAT, 2013).



Si bien en México destaca la agricultura con 20,567,358.34 ha sembradas con un valor de producción de 884,876,266 de pesos (SIAP, 2023), las

extensas costas del país permiten mantener una producción constante de productos marinos. Incluso durante los periodos de vedas, se implementan granjas acuícolas que permiten continuar la producción sin interrumpir los ciclos naturales de los ecosistemas acuáticos.

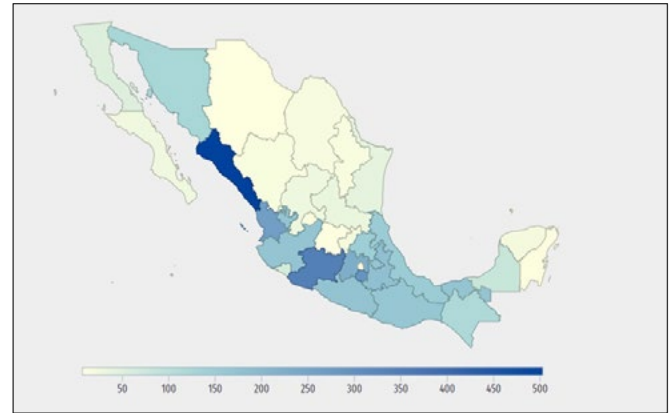
Ante el riesgo de esas actividades sobre los ecosistemas, es importante la regulación de la operación en cada una de ellas y, así, evitar impactos negativos en el medioambiente.

### Panorama actual de la actividad acuícola en México

En México la producción acuícola se realiza en 23 de los 32 estados de la república. De acuerdo con el Censo Económico del 2019, se contabilizaron 3,500 unidades económicas, siendo el noroeste del país la región más productiva (Véase figura 2).

Sinaloa, cuenta con 11 ríos y 9 sistemas lagunares, de los cuales, 7 son considerados sitios Ramsar (humedal designado como de importancia internacional), y un clima propicio para el desarrollo de diversas actividades económicas primarias con

Figura 2. Distribución de unidades económicas según entidades federativas. Fuente (Secretaría de Economía, 2023)



un valor de producción agroalimentaria de \$1, 066 millones de dólares (Secretaría de Economía, 2023). En esta entidad, las cuencas altas albergan 13 regiones mineras. En cuencas medias se desarrolla la agricultura, abarcando el 25% de la superficie del estado. Por su parte, en cuenca baja, donde ya se combinan todos los impactos ambientales, se realiza la acuicultura (18,301 ha) sobre la planicie cos-



tera sinaloense (INEGI, 2022), la cual registra 453 unidades económicas dedicadas a la acuicultura, generando una producción con valor de 3 mil 181 millones de pesos (Véase Figura 3) (Secretaría de Economía, 2023).

En esa extensiva actividad económica, la siembra se realiza en estanques de un área mayor a 1 ha con abastecimiento de agua de ríos y lagunas, con suministro de oxígeno, en algunos casos, por medios mecánicos. En estos estanques, se vierten tanto el alimento como fármacos, siendo los más utilizados la oxitetraciclina y florfenicol, que, junto con los residuos fisiológicos de los camarones, deterioran la calidad del agua. Ante esto, la única actividad para contrarrestar dicho deterioro es el recambio de agua que se realiza en los estanques. La cosecha de estos cultivos se hace una o dos veces al año.

Si bien, la acuicultura se abastece principalmente de ríos y sistemas lagunares, estos últimos funcionan también como cuerpos receptores de las aguas de retorno agrícolas y de los mismos efluentes acuícolas, así como de aguas municipales de las poblaciones asentadas en sus alrededores.

Figura 3. Distribución de las unidades de producción acuícola y puertos en Sinaloa. Fuente: (Secretaría de Economía, 2023).



res. Así mismo, son afectados por el azolvamiento mediante sedimentos originados por el desmonte de selva baja caducifolia para preparar terrenos para la agricultura, y por la excavación de los estanques, reservorios y canales de llamada de las granjas acuícolas. De esta manera, los efectos de cuenca media se ven reflejados en la zona baja de la cuenca que es donde se ubica la acuicultura.

### El efecto de las actividades acuícolas en la desembocadura de la cuenca

Al finalizar la cosecha de camarón, los estanques son drenados en su totalidad para la preparación del nuevo ciclo de producción. Esta actividad implica un impacto en la calidad del agua del cuerpo receptor. En la mayoría de las regiones acuícolas, el mismo cuerpo de agua superficial que sirve como fuente de abastecimiento, es utilizado para verter las aguas residuales postcosecha de los estanques.

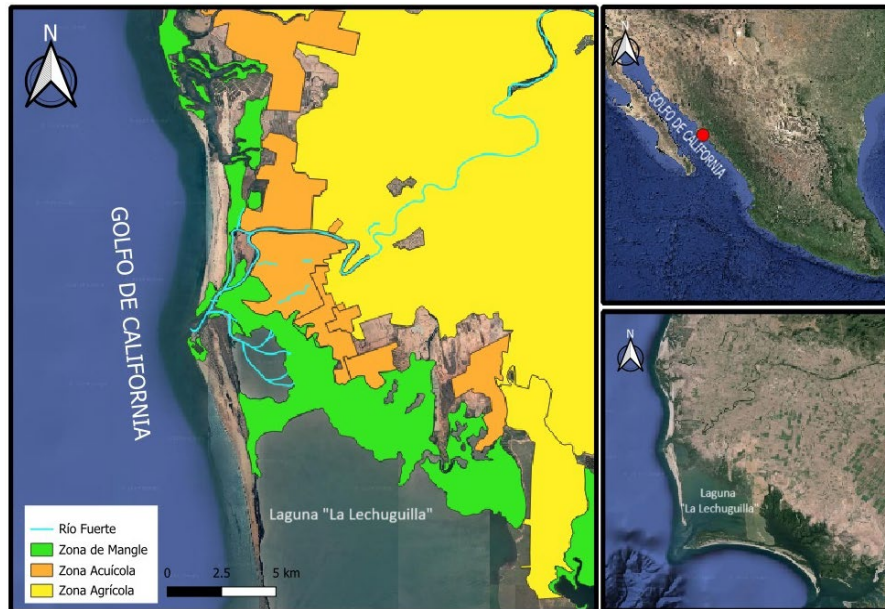
El vertido de estas aguas residuales provoca la disminución del oxígeno disuelto en el cuerpo acuático receptor. Estas condiciones pueden gene-

rar pérdida de servicios ambientales, así como la modificación de las características del ecosistema lo que conlleva a la disminución del rendimiento de las especies. Sin embargo, los sistemas acuáticos pueden resistir a estas actividades antropogénicas mediante su capacidad de resiliencia. La capacidad de resiliencia de un cuerpo de agua está dada principalmente por sus características hidrológicas, climáticas y propias de las fuentes puntuales, que permitan determinar su capacidad de degradación de materia orgánica, así como su capacidad de reaeración para reponerse del déficit de oxígeno disuelto al que fue sometido por los vertimientos.

Un caso de estudio es la cuenca del río Fuerte en Sinaloa. Este río tiene la extensión territorial más amplia en el estado, considerando 33,590 km<sup>2</sup>, con una longitud de 540 km y escurrimiento medio anual de 5,176 millones de metros cúbicos. En su desembocadura se encuentran 22.3 km<sup>2</sup> de manglares. Estos ecosistemas costeros y la calidad del agua en general se ven amenazados por las descargas acuícolas en los últimos 10 km del río (*Véase Figura 4*). Para cuantificar el impacto ambiental en la des-

embocadura del río sobre el ecosistema costero, se aplicó el modelo de Streeter-Phelps que permite modelar matemáticamente la dinámica del oxígeno disuelto de cuerpos de agua lóticos después de haber recibido los efluentes de una fuente puntual de contaminación.

Figura 4. Distribución de la actividad acuícola en la cuenca baja del río Fuerte.



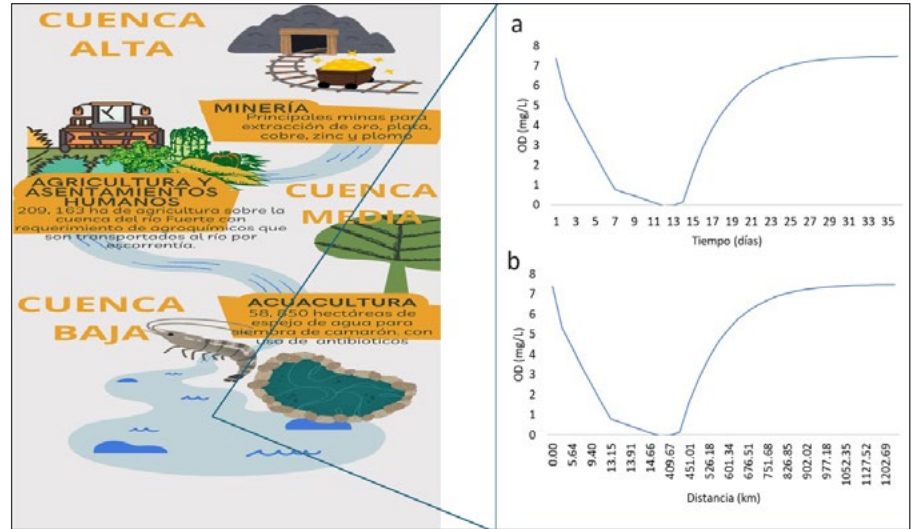
Los resultados indicaron que, las descargas acuícolas llegan a contener hasta 1800 mg/L de materia orgánica, mientras que el río en esa última sección llega a contener en promedio 51.7 mg/L de materia orgánica, la velocidad de la corriente del río Fuerte se determinó en 0.435 m/s, un área de sección transversal de 705.5 m<sup>2</sup>, así como los caudales tanto del río como de la fuente de contaminación. Con esto se pudieron calcular las constantes de degradación de materia orgánica, así como su constante de re-aireación. De esta forma se determinó que las descargas de agua residual acuícolas, sin previo tratamiento, generan una mezcla en el río con concentración de 65 mg/L de materia orgánica. Esta

concentración llega a la desembocadura del río, ubicada a 6.7 km de la descarga acuícola, en una concentración de 61.41 mg/L. De acuerdo con su velocidad, esto se lograría en aproximadamente 4.3 horas. Considerando la distancia que existe desde la descarga hasta la desembocadura al mar abierto el río conservaría en ese punto una concentración de OD de 3.7 mg/L, siendo una concentración óptima para la vida acuática mayor a 5 mg/L (Véase Figura 5).

Es importante resaltar que en la modelación solo se consideró la carga orgánica de una granja acuícola, sin embargo, la zona tiene el registro de aproximadamente 58, 850 ha de espejo de agua sembrada (Secretaría de Pesca y Acuicultura, 2023).

Figura 5. Curva de oxígeno disuelto para cuenca baja del río Fuerte.

a) respecto al tiempo; b) respecto a distancia



Además, las actuales modificaciones en la infraestructura acuícola han complicado el panorama para los ecosistemas lagunares. Actualmente, existe un desvío en los vertimientos de las granjas acuícolas, por medio de un canal único donde descargan todos los estanques de la zona, hacia un cuerpo de agua léntico que, por sus características

naturales, tienden a presentar menor capacidad de resiliencia comparado con cuerpos lóticos, debido a la ausencia de movimiento que permita su re-aireación. Por lo que el transporte de contaminantes llega en concentraciones aún más altas a mar abierto.

## Conclusión

De esta manera es evidente que la actividad acuícola sin regulación en sus descargas podría generar a largo plazo la degradación de un sistema lagunar importante para las especies que lo habitan. Además, es importante mencionar que sólo como caso de estudio se está presentando el efecto de la actividad acuícola y, por ende, lo agrícola y los asentamientos humanos. Sin embargo, no se cuantifica la contami-

nación específica de otras actividades económicas, como los metales pesados que provienen de la actividad minera en la cuenca alta y que también pueden ser transportados a los ecosistemas costeros.

Es importante destacar que este fenómeno ocurre a lo largo de la costa del estado de Sinaloa. Por lo que la modelación de contaminantes puede utilizarse como herramienta técnica que permite cuantificar el impacto de las actividades antropogénicas a nivel de cuenca. A su vez, sugiere la implementación de sistemas de tratamiento basados en la naturaleza, que también removerán contaminantes como los generados por la actividad minera, para mitigar los impactos que finalmente recaen en la biodiversidad del mar de Cortés. 💧



## ACUÍFEROS COSTEROS: DESCARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO

**ALEJANDRO MUÑOZ-ALDAPE,  
JESÚS MONTOYA-MENDOZA, FABIOLA LANGO REYNOSO,  
MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ,  
BENIGNO ORTIZ MUÑIZ**  
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO,  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO, VERACRUZ

**VIRGILIO ARENAS-FUENTES**  
INSTITUTO DE CIENCIAS MARINAS Y PESQUERÍAS DE LA  
UNIVERSIDAD VERACRUZANA, BOCA DEL RÍO, VERACRUZ



### ARTÍCULO

#### Resumen

La evidencia a nivel global indica que los acuíferos costeros, tanto actuales como relictos, descargan considerables volúmenes de agua por debajo del lecho marino, lo que se presenta de manera extensa en las zonas costeras y la plataforma continental del Golfo de México. En el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), el flujo de agua subterránea de procedencia continental es de difusión no puntual, pasiva y activa en fondos arenosos. El resultado de la geodinámica hidráulica del acuífero, las mareas y

el viento en las zonas marinas adyacentes son determinados por procesos de difusión agua-sedimento. En el presente documento se muestra la presencia de descargas de agua subterránea salobre en el medio marino que se encuentra en una interacción constante aportando agua continental al SAV por medio de las descargas de agua subterránea en el mar (SGD) con intercambio de componentes orgánicos e inorgánicos en la interacción agua-sedimento.

## Palabras clave

Acuífero costero, aguas subterráneas, zona costera, SGD, SAV

## INTRODUCCIÓN

El agua subterránea se origina principalmente a partir del agua de lluvia que se infiltra en el suelo. Esta agua se filtra a través de los diferentes estratos del terreno a distintas velocidades, impulsada por la fuerza de la gravedad. Al encontrar una capa de material menos permeable, el agua se acumula y se almacena, dando lugar a la formación de acuíferos. Estos acuíferos son reservorios naturales de agua dulce que se encuentran bajo la superficie terrestre. (IMTA, 2019).

Los acuíferos son formaciones geológicas con propiedades hidráulicas que permiten el almacenamiento y la transmisión libre de agua a través de sus poros o grietas conformados por zonas saturadas, no saturadas y nivel freático (Aguilar-García y Ortega-Guerrero, 2017).

El agua subterránea en México representa aproximadamente el 97%, mientras que la superficial

como son ríos, lagos, lagunas, esteros, presas solo el 3%. Por tanto, el agua subterránea es la única fuente para consumo doméstico de más de 75 millones de habitantes y el 60% para riego en la producción agropecuaria (Domínguez y Carrillo-Rivera, 2007).

La descarga de agua subterránea submarina (SGD), es la “descarga directa de agua subterránea a través de la interfaz sedimento-agua en estuarios, bahías y el océano” (Stieglitz et al., 2010). Por lo que este proceso hidrogeológico altamente dinámico y complejo que vincula significativamente al continente con el mar.

## EVIDENCIA DE SGD EN EL SAV

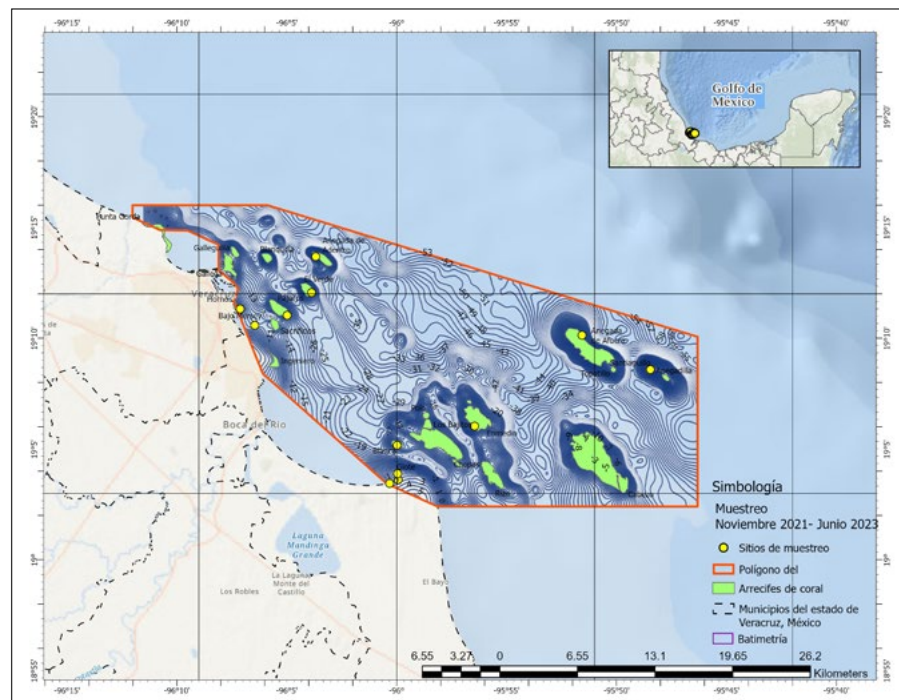
El SAV se encuentra en la plataforma continental de la llanura central del estado de Veracruz, en el Golfo de México, conformado por 50 arrecifes corales que se ubican frente a los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado (Liaño-Cerrera et al., 2019) Véase *Figura 1*.

Para identificar la probable presencia de SGD en el SAV, se realizaron mapas de parámetros ocea-



nográficos del agua del fondo marino (temperatura, salinidad), se utilizó un CTD marca Sea Bird, con el cual se identificaron valores anómalos de salinidad (menores a  $35^{\circ}/_{\text{00}}$ ) que sugieren la ubicación de zonas con emanación de agua subterránea. Se seleccionaron para muestreo 14 sitios dentro del SAV (ocho en la zona sur y seis en la zona sur) como se muestra en la figura 1. Mediante buceo autónomo, se instalaron loggers mini CTDs marca Star Oddi (Gabuyo y Siringan, 2021), uno directamente en el piso oceánico y otro sensor a un metro de altura con la finalidad de evaluar las variaciones temperatura y salinidad cada 30 minutos, durante los días comprendidos entre los meses

Figura 1.



de noviembre 2021 a junio 2024. Los sitios seleccionados se encuentran en estructuras arrecifales, por tal motivo, se colocaron sobre

sedimento biogénico y arenas sin afectar el arrecife de coral, siguiendo las recomendaciones de la Dirección del PNSAV (Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano de la CONANP.

Para determinar las diferencias en cuanto al promedio de salinidad y de temperatura, se realizó un análisis de varianza (ANOVA,  $P > 0.05$ ) de dos vías; se comprobó que los datos cumplieran con normalidad mediante la prueba Shapiro-Wilk y con homogeneidad empleando la prueba de Levene, utilizando el software Minitab versión 18. Posteriormente se realizó una prueba de similitud, con los registros de las variables de los sitios de muestreo (Magurran 2004; ZAR, 2010).

**Tabla 1. Datos obtenidos por sitio, promedios de temperatura y salinidad  $\pm$  desviación estándar, valores mínimos y máximos, profundidad, altura máxima de marea y periodo**

	Temp (°C)	Sal (o/oo)	Prof (m)	Marea (cm)	Periodo (días)
<b>Zona Norte</b>					
Muelle	28.8 $\pm$ 0.7 (26.9-30.2)	22.3 $\pm$ 6.5 (15.3-35.2)	1	0 a 30	12
Gorgoritos	27.3 $\pm$ 0.8 (25.2-28.8)	35.9 $\pm$ 0.4 (34.8-37)	7.5	0 a 40	17
A. Pájaros	25.4 $\pm$ 0.9 (23.9-27.7)	33.3 $\pm$ 1.1 (31.7-38.8)	9	0 a 40	12
A. Isla Verde	24.1 $\pm$ 0.4 (23.1-25.4)	17.1 $\pm$ 0.2 (16.8-18.3)	10.5	0 a 30	16
Poza Azul (Isla Verde)	24.6 $\pm$ 0.7 (22.6-26.4)	26.2 $\pm$ 4.2 (21.8-35.1)	8	0 a 30	15
A. Anegada de Adentro	25.2 $\pm$ 0.9 (23.9-27.8)	32.9 $\pm$ 1.8 (29.8-35.3)	14	0 a 40	8
<b>Zona Sur</b>					
Playa Antón Lizardo	28.4 $\pm$ 0.6 (27.3-30.5)	20.1 $\pm$ 9.4 (6.7-33)	0.1	0 a 20	2
A. Giote (sotavento)	26.3 $\pm$ 0.4 (25.2-27.2)	34.2 $\pm$ 1.6 (15.8-35.4)	3	0 a 50	14
A. Giote (barlovento)	26.1 $\pm$ 0.2 (25.5-27.3)	33.5 $\pm$ 0.4 (30.6-33.8)	7	0 a 50	16
A. Blanca	29.2 $\pm$ 0.6 (27.4-30.8)	14.5 $\pm$ 1.9 (11.9-34.9)	9	0 a 40	85
A. En medio	26.1 $\pm$ 0.2 (25.5-27.3)	33.5 $\pm$ 0.4 (30.6-33.8)	14	0 a 60	54
A. Enmedio (AA)	27.8 $\pm$ 0.2 (27.4-28.2)	33.4 $\pm$ 0.31 (32.6-33.9)	30	0 a 70	12
A. Anegada de Afuera	29.1 $\pm$ 0.5 (28.2-30.5)	23.9 $\pm$ 2.2 (20.1-34.7)	13	0 a 60	35
A. Santiaguillo	24.4 $\pm$ 0.4 (23.7-25.8)	29.2 $\pm$ 4.8 (19.5-35.8)	21	0 a 60	35

## REGISTRO DE EMANACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SAV

Se registraron un total de 3270 datos de temperatura y 3262 datos de salinidad. La temperatura mínima fue de 24.1°C correspondiente al Arrecife de Isla Verde, y una temperatura máxima de 28.8°C en la zona de Muelle de Pescadores (Tabla 1). Las varianzas no fueron homogéneas y de acuerdo al ANOVA se rechazó la hipótesis nula y se determinaron diferencias significativas de la variable entre los sitios; de esta manera, con la prueba de Tukey con el 95% de confianza, y se determinaron cinco grupos, los sitios 4 y 5 se presentaron similitud con una menor temperatura. La menor salinidad se registró en Isla Verde con 17.1 o/oo, y la mayor en Gorgoritos de 35.9 o/oo o PSU. Las varianzas no fueron homogéneas y de acuerdo a la ANOVA, se rechaza la hipótesis nula, se registraron diferencias significativas entre los sitios. Se aplicó la prueba Tukey con un 95% de confianza resultando 5 grupos, destacan los sitios A. Pájaros y Anegada de Adentro con medias de salinidad similares (Tabla 1).

En la zona sur, se registraron 7720 datos de temperatura y 3262 de salinidad, de los cuales el valor mínimo fue de 24.4 °C en el arrecife Santiaguillo y una temperatura máxima de 29.1 °C en el arrecife Anegada de Afuera. Las varianzas no fueron homogéneas y de acuerdo al ANOVA, se rechaza la hipótesis nula, registrando diferencias significativas en las variables entre los sitios, se aplicó la prueba Tukey con 95% de confianza dando como resultado 6 grupos significativamente diferentes, donde el sitio 8 (A. Santiaguillo) es el que presenta menor temperatura, mientras que los sitios 4 (A. Blanca) y 7 (A. Anegada de Afuera) se asocian a una mayor temperatura (Tabla 1).

El arrecife Blanca se registró con menor salinidad (14.5 PSU), y el A. Giotte con mayor salinidad (34.2 PSU). Las varianzas que se registraron no fueron homogéneas y de acuerdo a la ANOVA de una sola vía, se rechaza la hipótesis nula. Se registraron diferencias significativas entre las medias, se aplicó la prueba Tukey (95% confianza) dando como resultado 6 grupos distintos, siendo los sitios 3,5 y 6 similares pero distintos a los demás.

Con los datos obtenidos se puede concluir que sí existen descargas de acuíferos costeros en los arrecifes coralinos, que el fenómeno es extenso en el SAV y difícil de generalizar dada la gran heterogeneidad bio geomorfológica.

## Conclusiones

En 13 de los 14 sitios donde se colocaron los sensores mini CTDs, hubo diferencia significativa dentro de la columna de agua, registrando una salinidad menor en el fondo marino en comparación a la registrada a un metro por arriba. Esto indica que el flujo de agua subterránea salobre asciende a la superficie a través de los edificios arrecifales.

Los datos registrados de temperatura y salinidad, permitieron identificar que existen descargas de agua subterránea emanando al SAV, cada sitio presentó emanaciones de agua salobre de manera difusa, en algunos casos permanente y en otros intermitentes. El análisis de datos demostró que la emanación de agua subterránea se encuentra influenciada por los cambios del nivel del mar, producidos por la marea y eventos meteorológicos. 💧

## REFERENCIAS

- Aguilar-García, R. y Ortega-Guerrero, M. A. (2017). Análisis de la dinámica del agua en la zona no saturada en un suelo sujeto a prácticas de conservación: implicaciones en la gestión de acuíferos y adaptación al cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 34(2) 91-104.
- Domínguez, J. y Carrillo-Rivera, J. J. (2007). El agua subterránea como elemento de debate en la historia de México, en Mayer, A. (coord.), México en Tres Momentos 1810-1910- 2010. México: Instituto de Investigaciones Históricas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gabuyo, M. R. y Siringan, F. (2021). Utility of low-cost recreational-grade echosounders in imaging and characterizing bubbly coastal submarine groundwater discharge. *Journal of Hydrology X*. 14. 100118. 10.1016/j.hydroa.2021.100118.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). (2019). Aguas subterráneas.
- Liaño-Carrera F. T., ... y Salas-Monreal, D. (2019). New coral reef structures in a tropical coral reef system *Lat. Am. J. Aquat. Res.*,47(2) (2019), .270-281.
- Magurran, A. E. (2004) *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing, Oxford, 256 p.
- Stieglitz, T. C., Cook, P. G., y Burnett, W. C.: (2010). Inferring coastal processes from regional-scale mapping of 222radon and salinity: examples from the Great Barrier Reef, Australia. *Environ. Radioactiv.*, 101, 544-552.
- Zar, J.H. (2010) *Biostatistical Analysis*. 5th Edition, Prentice-Hall/Pearson, Upper Saddle River, xiii, 944 p.

# FLUJOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LAS COSTAS Y MARES DE MÉXICO

**VIRGILIO ARENAS-FUENTES**

INSTITUTO DE CIENCIAS MARINAS Y PESQUERÍAS DE LA UNIVERSIDAD VERACRUZANA,  
BOCA DEL RÍO, VERACRUZ

**ALEJANDRO MUÑOZ-ALDAPE**

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE BOCA DEL RÍO, VERACRUZ

**IRIS NERI-FLORES, JORGE LUIS HERNANDEZ**



ARTÍCULO

## Resumen

La presencia de descargas de agua dulce en el fondo marino (SGD) ha sido conocida desde tiempos remotos. Sin embargo, el reconocimiento de la importancia de la SGD para entender la ecología y geomorfología litoral, producción pesquera costera y marina ha sido apenas evaluado en las dos últimas décadas. Estimaciones conservadoras derivadas de Radón como radiotrazador determinan que a nivel global, los flujos de SGD de Nitrógeno inorgánico, fósforo inorgánico y sílice disuelto podrían

ser 1.4-, 1.6-, y 0.7 veces el flujo de los ríos al océano global. Estos flujos se llevan a cabo principalmente por procesos de difusión en el piso marino y no necesariamente o únicamente como “ojos de agua” o cenotes. El flujo difuso de la SGD puede crear zonas de transición entre el agua dulce y el agua marina llamadas “estuario subterráneo”. Las características hidrogeológicas de México en ambos litorales indican una gran importancia de la SGD en el mar, como determinante de la ecología, bio-

diversidad, condición y productividad de los ecosistemas marinos con acuíferos costeros subyacentes. Esta importancia se suma al problema socio económico de la disponibilidad de los acuíferos como una clave del futuro.

### Palabras clave

Acuífero costero, aguas subterráneas, zona costera, SGD.

## INTRODUCCIÓN

La presencia de descargas de agua dulce o salobre en el fondo marino (SGD por sus siglas en inglés: Submarine Groundwater Discharge) no es un descubrimiento reciente. Strabo en el año 21 A. C. refiere una descarga bien localizada, un “ojo de agua” cuatro kilómetros mar adentro frente a Siria que se usaba para abastecer de agua dulce a las embarcaciones (Moosdorf y Oehler, 2017). Plinio el Viejo enlista afloramientos de agua dulce en el mar Negro y en el Mediterráneo (Gauchery, et al. 2021). Humboldt refiere el proceso en el mar Mediterráneo y en Cuba. Sin embargo, el reconocimiento de

la importancia de la SGD como determinante para explicar la ecología y geomorfología litoral, costera y marina ha sido apenas evaluado en las dos últimas décadas (Petermann, 2018). Paytan et al (2004) da cuenta de la contaminación bacteriana en playas de California derivadas del SGD. Son numerosas las referencias a florecimientos algales nocivos derivados de estos procesos. Cho et al (2017) usando estimaciones conservadoras de radiotrazadores (Radón) determinan que globalmente los flujos de SGD de Nitrógeno inorgánico, fósforo inorgánico y sílice disuelto podrían ser 1.4-, 1.6-, and 0.7 veces el flujo de los ríos al océano global.

Se ha encontrado que estos flujos se llevan a cabo principalmente por procesos de difusión, en el piso marino y no necesariamente o únicamente como afloramientos o surgencias o “ojos de agua” como son evidentes en varios lugares en el mundo. El flujo difuso de la SGD puede crear zonas de transición entre el agua dulce y el agua marina llamadas “estuario subterráneo” (Moore 1999) que explica los flujos de aguas salobres recientemente identificados en los sistemas arrecifales del mundo.

Estas mezclas producen tanto agua sub-saturada o sobresaturada con relación a la calcita cerca del piso marino, esto ocasiona su disolución e incrementa la porosidad y permeabilidad del acuífero o, por el contrario la precipitación de calcita y yeso causando cementación. Su relevancia se debe pues no solo a los volúmenes de agua, en el Mar Mediterráneo se estima igual o el doble de lo aportado por los ríos. El aporte SGD de nutrientes, es mayor al aportado por los ríos y también se aportan importantes componentes biogeoquímicos que difieren según la naturaleza e historia de las condiciones subyacentes (Ruben, et al. 2024).

## México y las Descargas de Agua Subterránea en el Mar

El aporte vía SGD resulta fundamental para entender la geomorfología litoral y submarina, la biología y productividad de la plataforma continental, zonas costeras, bahías incluyendo extensas lagunas litorales como las del Golfo de México y las zonas de Sonora y Sinaloa, Chiapas, Oaxaca (Santos, et al. 2009). México tiene características hidrogeológicas

en ambos litorales que indican una gran importancia de la SGD en el mar, como determinante de la ecología, biodiversidad, condición y productividad de los ecosistemas marinos con acuíferos subyacentes (Murgulet, et al. 2020). Esta importancia se suma al problema socio económico de la disponibilidad de los acuíferos como una clave del futuro.

El agua subterránea en México representa aproximadamente el 97% del agua dulce, mientras que la superficial como son ríos, lagos, lagunas, esteros, presas solo el 3%. Por tanto, el agua subterránea es la única fuente para consumo doméstico de más de 75 millones de habitantes y el 60% para riego en la producción agropecuaria (Domínguez y Carrillo-Rivera, 2007).

La condición de la fisiografía, hidrografía, geohidrología, geomorfología y tectónica del territorio mexicano, las características de sus más de 11,000 km de litoral, sus ecosistemas costeros, las características de sus más de 2 millones de km<sup>2</sup> de Zona Económica Exclusiva del mar en ambos litorales hacen que la actividad asociada a las descargas de agua subterránea se considere muy relevante.



México cuenta con un vasto, variado y complejo conjunto de ecosistemas marinos sujetos de manera directa o indirecta a la calidad y volumen de los flujos de las SGD en sus diversas formas. México, particularmente en sus zonas costeras, tiene dos tipos de problemas asociados a sus acuíferos, por un lado, los que son común en muchos países, la contaminación de los mantos, la intrusión salina derivada del flujo marino y la subsidencia por una severa disminución de los mantos (Montiel, et al. 2018). El otro es el limitado conocimiento de su hidrogeológica litoral. En algunas localidades como Mérida, en la península de Yucatán los primeros cien metros son de carbonatos, que no dejan residuos cuando se disuelven con la lluvia y que constituyen un complejo sistema kárstico de fracturas que descargan de manera de afloramientos o de manera difusa en ambas costas (Murgulet, et al. 2020).

El característico relieve de México, con grandes cadenas montañosas muy cerca de la costa hace que los ríos mexicanos sean, en general, cortos. Su caudal varía enormemente entre un norte que tiende al desierto, donde los cauces son esporádi-

cos, y el sur tropical con abundantes lluvias y caudales importantes. En México se pueden diferenciar tres grandes vertientes la del Pacífico, la del Golfo y la del Caribe. Las cuencas más húmedas son la del Usumacinta-Grijalva, la del Papaloapan, la de Coatzacoalcos, y la llamada Costa de Chiapas. Las más secas son las de El Vizcaíno (Cotler, et al, 2010).

En el Golfo de México hay evidencias significativas de flujos de agua subterránea en el mar, en Texas, Florida, Nueva Orleans (Gallardo, et al. 2006). La extensa conurbación Veracruz-Puerto, y el Sistema Arrecifal Veracruzano, constituido por más de 50 estructuras de origen biológico, son un ambiente donde estos procesos de interconectividades invisibles derivadas del flujo del agua subterránea se muestran sobresalientes. El origen geotectónico de la cuenca de Veracruz, asociado a la actividad del Eje Neovolcánico, con fallas y fracturas, ha permitido la extensión de los acuíferos costeros mar adentro y su descarga salobre parece explicar el origen y condición de las estructuras coralinas. La actual conurbación de casi un millón de habitantes, sufre inundaciones severas derivadas del flujo

subterráneo que brotaba en numerosas lagunas interdunarias que hace 500 años formaban parte del paisaje natural. La perturbación urbana, el uso (industrial, agrícola y ganadero) y dinámica de las cuencas de los ríos (en deforestación en un 85%), que nacen a corta distancia de las mayores elevaciones del país (pico de Orizaba) determinan que las condiciones de las costas y los ecosistemas costeros se vean sujetos a los efectos de las aguas subterráneas no visibles. La laguna de Alvarado y el Río Papaloapan, durante el periodo de secas se llenan fundamentalmente de agua subterránea invisible igual que las lagunas de Mandinga, Tamiahua, Laguna Grande, Terminos, y la extensa costa del Golfo de México con toda su riqueza pesquera y biológica. 💧

## Bibliografía

- Cotler, H., Garrido, A., Bunge, V., y Cuevas, M. L. (2010). Las cuencas hidrográficas de México: priorización y toma de decisiones. *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización*, 1, 210-215.
- Domínguez, J. y Carrillo-Rivera, J. J. (2007). El agua subterránea como elemento de debate en la historia de México, en Mayer, A. (coord.), *México en Tres Momentos 1810-1910- 2010*. México: Instituto de Investigaciones Históricas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gallardo, A.H. y Marui, A. (2006). Submarine groundwater discharge: an outlook of recent advances and current knowledge. *Geo-Mar Lett* 26, 102-113. <https://doi.org/10.1007/s00367-006-0021-7>.
- Gauchery, T., Rovere, M., Pellegrini, C., Cattaneo, A., Campiani, E. y Trincardi, F. (2021). Factors controlling margin instability during the Plio-Quaternary in the Gela Basin (Strait of Sicily, Mediterranean Sea), *Marine and Petroleum Geology*, Volume 123, 2021, 104767, ISSN 0264-8172.
- Montiel, D., Dimova, N., Andreo, B., Prieto, J., García-Orellana, J., y Rodellas, V. (2018). Assessing submarine groundwater discharge (SGD) and nitrate fluxes in highly heterogeneous coastal karst aquifers: Challenges and solutions. *Journal of Hydrology*, 557, 222-242.
- Moosdorf, N. y Oehler, T. 2017. Societal use of fresh submarine groundwater discharge: An overlooked water resource, *Earth-Science Reviews*, Volume 171, Pages 338-348, ISSN 0012-8252, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.006>.
- Murgulet, D., Douglas, A. R., Herrera Silveira, J. A., Mariño Tapia, I., y Valle-Levinson, A. (2020). Submarine groundwater discharge along the northern coast of the Yucatán Peninsula.
- Petermann, E. (2018). *Submarine and Lacustrine Groundwater Discharge:: Localization and Quantification using Radionuclides and Stable Isotopes as Environmental Tracers* (Doctoral dissertation, Dissertation, Dresden, Technische Universität Dresden).

Ruben, Z., Murgulet, D., Lopez, C. V., Mariño-Tapia, I., Valle-Levinson, A., y Matthews, K. (2024). Influence of Submarine Groundwater Discharge on the Nutrient Dynamics of a Fringing-Reef Lagoon. Available at SSRN 4803481.

Santos, I. R., Burnett, W. C., Chanton, J., Dimova, N., y Peterson, R. N. (2009). Land or ocean?: Assessing the driving forces of submarine groundwater discharge at a coastal site in the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 114(C4).

## IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA: DIAGNÓSTICO SISTÉMICO DESDE LA COMPLEJIDAD

NORMA ELIZABETH OLVERA FUENTES,  
FERNANDO J. GONZÁLEZ VILLARREAL  
INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM



### ARTÍCULO

**Resumen:** El diseño y urgente implementación de nuevas políticas públicas que realmente garanticen ser efectivas en la conservación del Golfo de California debe de partir ineludiblemente de una visión integral y sistémica que incorpore a todos los actores e impactos que estos generan en la región y áreas periféricas. La creciente sobreexplotación, degradación y contaminación en el Golfo de California con las consecuentes pérdidas: en habitas y biodiversidad; económicas; de calidad de vida de la población, entre otras se modela en este artículo desde un enfoque sistémico. El modelo obtenido

muestra que el conjunto de problemáticas consideradas se encuentran indisolublemente entrelazadas, mostrando las propiedades de un sistema complejo. La evolución de este sistema muestra que de no implementarse a corto plazo medidas de intervención efectivas para la conservación del Golfo de California, su degradación y correspondientes pérdidas multi-sectoriales serían prácticamente totales.

**Palabras clave:** Sistemas complejos, redes, procesos de retroalimentación, propiedades emergentes, mapas cognitivos difusos, política pública.

## 1. Introducción

¿Por qué en la agenda nacional debe ser una prioridad asignar recursos a proyectos de investigación para el Golfo de California? Y ¿por qué deben incorporarse los resultados de estas investigaciones en el diseño de nuevas políticas públicas para su conservación?

Por su excepcional riqueza en biodiversidad y hábitats de especies endémicas, e inigualable belleza, el prestigiado oceanógrafo, Jacques Cousteau, denominó el Golfo de California el “acuario del mundo”, siendo declarado Patrimonio Mundial Natural por la UNESCO en el 2005 (SEMARNAT, 2018). La excepcional riqueza biológica en el Golfo de California se contabiliza cercana a 5, 778 especies de fauna marina —macroinvertebrados marinos, peces y mamíferos marinos— de las cuales 831 son endémicas, así como más de 300 humedales y 17 ecosistemas costeros, a nivel mundial, en esta región habita el 40 por ciento de especies de mamíferos marinos y un tercio del total de cetáceos (González *et al.*, 2023).

Derivado de esta riqueza en biodiversidad, la actividad económica del Golfo de California es altamente estratégica para el país, forma parte de la Zona Económica Exclusiva de México, en el sector turístico, solo en Los Cabos y Mazatlán se reciben cerca de 5 millones de turistas, dejando una derrama económica anual de mil millones de dólares, a nivel nacional, de esta región se obtiene: el 71.2% de la producción pesquera y 70% de la producción acuícola; los 14 distritos de riego periféricos al Golfo de California aportan cerca del 40% de la producción agrícola; se tiene una importante crianza de ganado bovino, porcino, y avícola; y la actividad minera en solo cinco municipios aporta el 27% de la producción anual nacional (González *et al.*, 2023). Si bien son abundantes los recursos que aporta el Golfo de California, su explotación no es en absoluto sustentable y tanto la preservación de la biodiversidad como las actividades económicas y calidad de vida de la población en la región enfrentan severas problemáticas, las cuales se ven agravadas ante los modelos de gobernanza fragmentada entre el Gobierno Federal, los estados y municipios

costeros (González *et al.*, 2023). Entre los numerosos factores que contribuyen a la degradación del Golfo de California y regiones periféricas, por sus severos impactos, destaca la contaminación por actividad minera del agua y del suelo, debido a derrames de sustancias tóxicas, como el mercurio, plomo, arsénico, cianuro y ácido sulfúrico, que tienen impacto no sólo en la fauna y flora sino que afectan severamente la salud de las comunidades locales. En 2019, la UNESCO inscribió las islas y áreas protegidas del Golfo de California en la Lista de Patrimonio Mundial en peligro. Preservar la riqueza ecológica, del Golfo de California requiere de una gestión sustentable de los recursos, para lo cual como señalan González *et al.* (2023), es indispensable asumir una visión integral y sistémica que incorpore el continuo cuenca-costa-mar. Este artículo presenta un modelo que incorpora esta visión sistémica e integral, desde las ciencias de la complejidad.

## 2. Desarrollo

Como señala González *et al.* (2002), la gestión de recursos requiere de una clara comprensión de

la dirección y magnitud de los impactos. Para tal efecto, se creó un mapa que presenta en forma sucinta las problemáticas más acuciantes en el Golfo de California desde el enfoque “de la fuente al mar”. Para esta construcción se tomo como referencia la obra de González *et al.* (2023) y se identificaron las problemáticas más severas que enfrenta esta región —para este análisis se consideraron once— estas fueron: Incremento en la degradación —incremento de salinidad y regiones eurotróficas— y contaminación del Golfo de California (C1); incremento en la descarga de nutrientes —derivados de la creciente actividad agrícola—, metales pesados, contaminantes emergentes y aguas residuales (C2); incremento en la pérdida económica —turística, de pesca e industrial— (C3); decremento en la salud y calidad de vida de la población (C4); incremento en la pérdida de vida silvestre y marina (C5); incremento en la pérdida de hábitats —destrucción de manglares, cubierta vegetal y zona costera— (C6); sobre explotación pesquera —pesca desmedida y uso de técnicas no sustentables— (C7); incremento en la proliferación de algas (C8); reduc-

ción o eliminación de caudales en ríos que desembocan al Golfo de California — por la construcción de presas— (C9); crecimiento poblacional, de explotación de recursos y desarrollo social y económico no sustentable (C10); y disminución de recursos hídricos (C11).

Para simplificar la representación visual del mapa, cada una de estas once problemáticas se representó por medio de un círculo en cuyo interior se muestra su etiqueta — estos círculos se denominan nodos— véase *Figura 1*. Los resultados presentados por González et al. (2023) indican que entre las once problemáticas consideradas existen relaciones de causalidad, por ejemplo, la descarga de contaminantes (C2) es causa directa de la degradación y contaminación del Golfo de California (C1), lo que se indica por una flecha cuyo inicio parte de (C2) —la causa— y finaliza en (C1) —el efecto—, véase *Figura 1*. A su vez (C1) causa las condiciones para la proliferación de algas (C8), lo que contribuye a la destrucción de hábitats (C6), incrementando con ello la pérdida de biodiversidad (C5), lo que genera un decremento en la actividad econó-

mica en la región (C3), causando un decremento en la salud y calidad de vida de la población (C4), lo que contribuye a la descarga de más aguas residuales (C2), esta cadena de causas y efectos se puede representar por: (C2) → (C1) → (C8) → (C6) → (C5) → (C3) → (C4) → (C2). Véase *Figura 1*. Los caminos de causalidad que forman una trayectoria cerrada como esta, presentan procesos de retroalimentación y corresponden en este caso a ciclos viciosos (González et al., 2002). Las numerosas problemáticas derivadas o intensificadas por la degradación del Golfo de California están entrelazadas, esto es, cada problemática depende del grado en que esta es afectada por todas las demás, por lo cual es necesario estudiar no sólo las problemáticas por si solas, sino también las interrelaciones que existen entre ellas, sus propiedades emergentes lo caracterizan como un sistema complejo (Lara-Rosano et al., 2022). La intensidad de las relaciones de causalidad puede identificarse como alta, media o baja, a los que se les asigna los valores de 0.9, 0.6 y 0.3 respectivamente (Olvera-Fuentes y Gay-García, 2023). Véase *Figura 1*. Esta representación conforma un

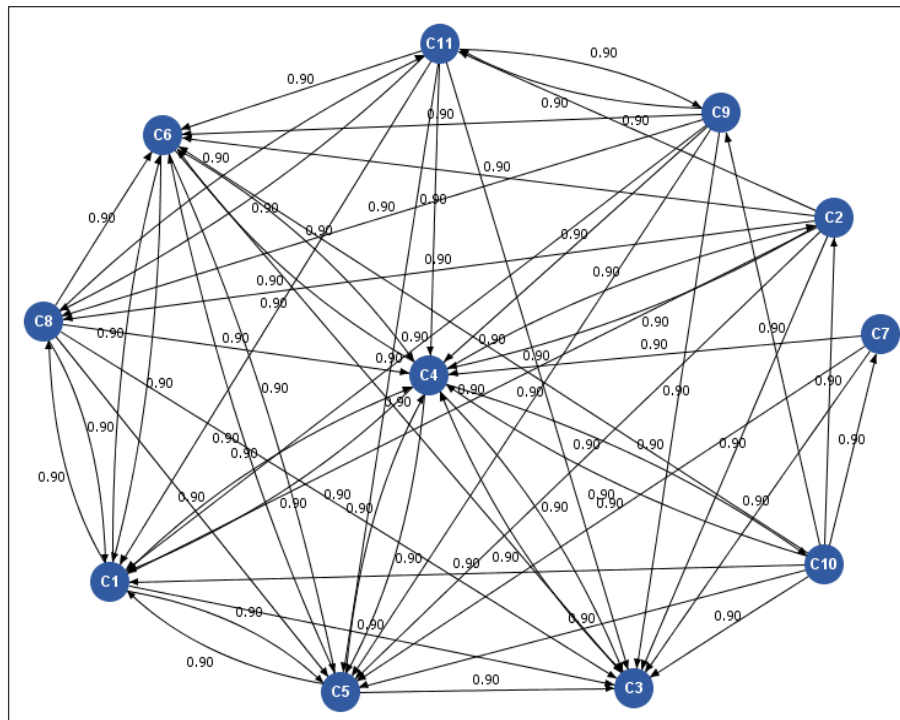


mapa cognitivo difuso (MCD), el cual permite no sólo representar en forma estática la dirección y magnitud de los impactos, sino también analizar su evolución (Kosko, 1986 y Ross, 2009).

### 3. Resultados y discusión

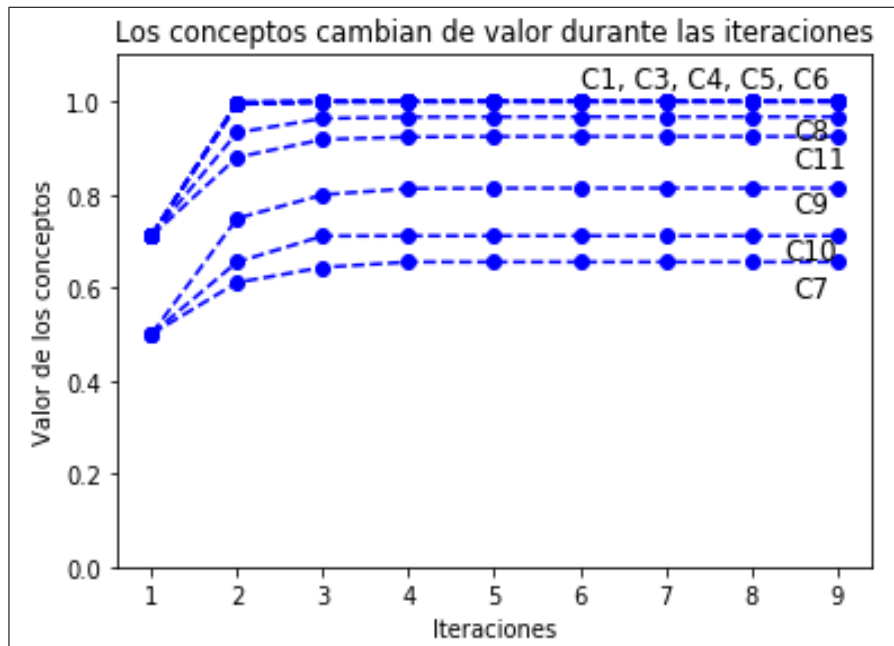
A partir de encender y asignarles en cada iteración el valor máximo de uno —mantenerlos como forzantes— a los nodos (C2), (C7) y (C9), del valor inicial nulo que tenían los conceptos restantes estos se activan después de la primera iteración. Los valores asintóticos de los conceptos (C1), (C3), (C4), (C5) y (C6) tienden a uno —máximo grado de severidad—. Véase *Figura 2*. Esto significa que ante las condiciones actuales de incrementos en la sobre explo-

**Figura 1. Mapa cognitivo difuso compuesto por once nodos y 58 reglas de causalidad.**



tación pesquera (C7), reducción de caudales en ríos que desembocan al Golfo de California (C9) y descarga de contaminantes (C2), alcanzarán el grado de severidad máximo: la degradación en el Golfo de California (C1); la pérdida económica (C3); el decremento en la salud de la población y su bienestar (C4); la pérdida de hábitats (C6) y especies marinas (C5). Si bien los MCD no brindan una descripción temporal en meses o años, la rápida evolución asintótica hace plausible suponer que de no diseñarse y ejecutarse políticas públicas realmente eficientes para la conservación del Golfo de California, la pérdida multi-sectorial sería total.

Figura 2. Evolución del grado de severidad de las problemáticas. Uno es el máximo valor.



## 4. Conclusiones

El diagnóstico sistémico que se ha presentado fue posible llevarlo a cabo a partir de la valiosa información actualizada que presentan González *et al.*, (2023) sobre los impactos que las actividades productivas tienen en el Golfo de California. Los resultados del modelo sistémico demuestran la urgencia de asignar recursos para el financiamiento de investigaciones clave para el Golfo de California, así como la necesidad de incluir estos resultados en el diseño e implementación de nuevas políticas públicas que permitan la cooperación multisectorial con la finalidad de garantizar su conservación tanto para esta generación como las venideras. La construcción del mapa cognitivo difuso de esta región se fortalecerá en la siguiente etapa asignando los pesos de las relaciones de causalidad con base a la opinión de expertos. 💧

## Bibliografía

González, F., Smyle, J., Dalton, J., Kerr, J., Kiersch, B., & Tucker, S. P. (2002). Improving watershed management programs. *Annals of Arid Zone*, 41(3/4), 399-406.

González, F. J., Salas de León, D. A., Aragón-Hernández, J. L., Fuentes-Mariles, G. E., Aguilar-Amilpa, E., de la Mora, J., Romero-Gil, J. A., y Arriaga Medina, J. A. (2023). *Interacciones entre aguas continentales y marinas en el Golfo de California* [manuscrito presentado para su publicación]. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International journal of man-machine studies*, 24(1), 65-75.

Lara-Rosano, F., Cano, A. G., y Márquez, S. A. (2022). *Teorías, métodos y modelos para la complejidad social: Un enfoque de sistemas complejos adaptativos*. México: Colofón.

Olvera-Fuentes, N. E., y Gay-García, C. (2023). Fuzzy cognitive maps to explore the repercussions of less precipitation on the water supply service of the Mexico City Metropolitan Area. *Atmósfera*, 36(2), 299-316.

Ross, T. J. (2009). *Fuzzy logic with engineering applications*. Estados Unidos: John Wiley & Sons.

SEMARNAT. (26 de julio de 2018). *Golfo de California, el acuario del mundo*. Obtenido de: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/golfo-de-california-el-acuario-del-mundo-166100?idiom=es#:~:text=Nombrado%20el%20acuario%20del%20mundo,Natural%20por%20parte%20de%20la>

# CALIDAD DEL AGUA Y ESTADO TRÓFICO DEL RÍO USUMACINTA Y SUS PRINCIPALES TRIBUTARIOS EN FUNCIÓN A DIFERENTES USOS DEL SUELO EN LA CUENCA, DURANTE DOS TEMPORADAS HIDROLÓGICAS EXTREMAS



JORGE RAMÍREZ-ZIEROLD,  
JULIO DÍAZ-VALENZUELA,  
JAQUELINE HERNÁNDEZ-ÁNGELES,  
BERENICE JUÁREZ-GRANADOS,  
SERGIO CASTILLO-SANDOVAL,  
PATRICIA VALDESPINO-CASTILLO,  
MARIEL BARJAU-AGUILAR,  
ÓSCAR GERARDO-NIETO  
Y MARTÍN MERINO-IBARRA.

LABORATORIO DE BIOGEOQUÍMICA ACUÁTICA,  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, U.N.A.M.

## Resumen

La cuenca del río Usumacinta abarca una superficie total de más de 70,000 km<sup>2</sup>, con un 42 % de su extensión en territorio mexicano. Su caudal tiene una relevancia estratégica para miles de familias y sistemas de producción. El río Usumacinta nace de la confluencia de los ríos Chixoy y Lacantún, y representa el caudal más importante de toda Meso-

américa (1,700 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>). La variación estacional (secas y lluvias) en el río Usumacinta presenta un estado mesotrófico, (PT=0.8-2.4 μmol L<sup>-1</sup>; NT = 50-107 μmol L<sup>-1</sup>), debido a las modificaciones en la cuenca para asentamientos humanos y actividades productivas. Los bajos niveles de concentración de nutrientes (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y fósforo reactivo disuelto); fósforo y nitrógeno orgánicos disueltos y particulados, en ambas temporadas, reflejan un rápido reciclamiento del material orgánico de la cuenca, lo que es indicio de un sistema potencialmente productivo y complejo en biodiversidad.

**Palabras clave:** río Usumacinta, nutrientes, estado trófico, calidad del agua, cambio usos de suelo.

## Introducción

Históricamente se ha observado un incremento progresivo en la demanda de agua por diferentes sectores sociales, derivado principalmente del crecimiento de la población mundial, particularmente en países con economías emergentes que están en vías de desarrollo. Así, con una población creciente, se vuelve esencial la disponibilidad de una cantidad y calidad de agua adecuadas. Para ello, es esencial una política pública que permita satisfacer todas las necesidades hídricas, a la vez que promueva la conservación de los servicios ecosistémicos de una forma sostenible.

Los ríos se encuentran entre los ecosistemas más amenazados a nivel mundial, por la creciente presión que las actividades antropogénicas imponen en general sobre estos ecosistemas acuáticos. Entre las amenazas más persistentes se encuentran la contaminación (tanto orgánica como inorgánica), la continua extracción de agua, variaciones de la precipitación pluvial y las modificaciones de la red hidrológica (e.g. canalización de ríos, creación de embalses, fragmentación y desviación de flujos).

Por lo anterior, es de vital importancia identificar de manera urgente los mecanismos que están provocando una reducción de la calidad ambiental de dichos ecosistemas. Así, el conocimiento de la estructura y función de los ecosistemas lóticos es fundamental para comprender cómo las actividades antropogénicas pueden alterar los procesos naturales y qué medidas se deben realizar para su conservación o restauración (Sendzimir & Schmutz, 2018, p. 1-4).

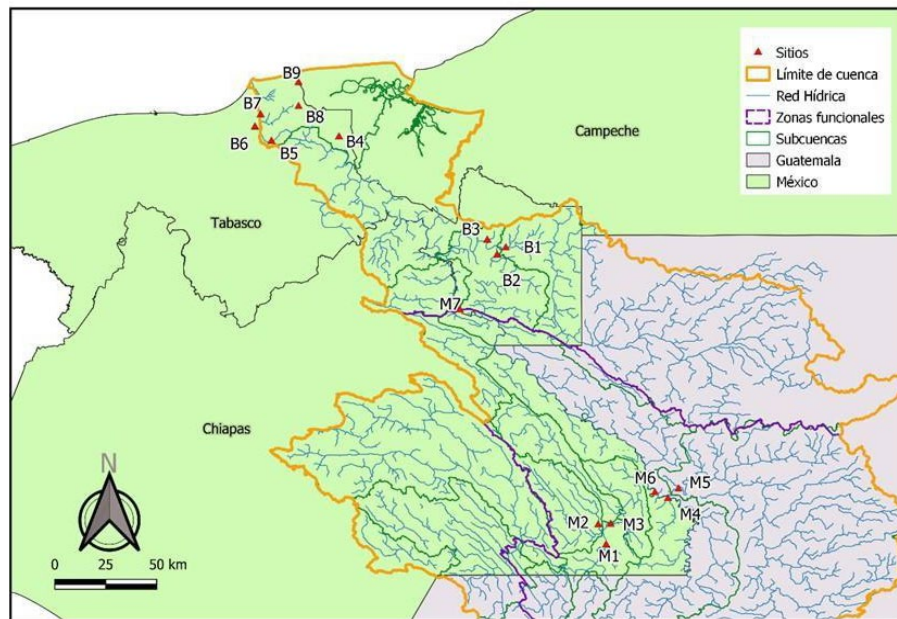
En este sentido, la química del agua constituye un factor clave para la determinación del estado ecológico de los ríos y su calidad del agua, ya que determina la composición del medio en el que viven directa o indirectamente los organismos acuáticos o semi-acuáticos. Así, los macronutrientes más importantes dentro de la química del agua son el nitrógeno (N) y el fósforo (P) que juegan un papel fundamental en todos los organismos y están íntimamente relacionados con el ciclo del carbono de los ecosistemas acuáticos; asimismo, su cantidad y su especie química, determinan en gran medida la productividad primaria (estado trófico)

de dichos ecosistemas (Weiglhofer, Hein, & Bondar-Kunze, 2018. p. 187-191). Cuando estos nutrientes están en exceso, el funcionamiento normal de los ecosistemas se altera al punto que algunas especies presentes pueden desaparecer si no son capaces de adaptarse.

### Área de estudio y metodología

Con base en la información bibliográfica de calidad del agua, sedimentos, macro bentos y perifiton en el río Usumacinta, se construyó un diagnóstico actualizado de la condición de vulnerabilidad y de calidad del agua de la red hidrológica del río Usumacinta. Para ello se establecieron 16 sitios de muestreo (Véase Figura 1), donde fue

**Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo a lo largo de la Cuenca de río Usumacinta. Cuenca media (M1 a M7) y Cuenca baja (B1 a B9).**



posible evaluar los posibles efectos de las diferentes transformaciones del entorno y los cambios de uso del suelo. Además, en la cuenca se presentan áreas naturales protegidas federales, dos reservas de la bios-

fera y un área de protección de flora y fauna. En todos los puntos se determinaron variables físico-químicas clave (Temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad específica), los flujos de agua y se recolectaron muestras de agua para la determinación de diferentes fracciones químicas de nitrógeno (N) y de fósforo (P).

Los trabajos de campo en la cuenca del río Usumacinta se llevaron a cabo del 27 de octubre al 7 de noviembre del 2017, correspondiente a la temporada de lluvias (máximos caudales), y durante el 11 y 12 de abril de 2018 durante la temporada de estiaje (mínimos caudales), como parte del proyecto *FORDECyT 273646 “Cambio global y sustentabilidad en la cuenca del río Usumacinta y zona marina de influencia. Bases para la adaptación al cambio climático desde la ciencia y la gestión del territorio”*.

### **Impactos sobre la calidad del agua del río Usumacinta y sus principales tributarios**

Los resultados del estudio refieren que, en términos generales, el río Usumacinta presenta condiciones de alta vulnerabilidad y riesgo de disminuir progre-

sivamente su calidad del agua, frente a la creciente deforestación y el consecuente cambio de usos del suelo. Actualmente presenta ya una condición de mesotrofia (PT = 0.8-2.4  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ; NT = 50-107  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) en ambas temporadas (secas y lluvias), debido a las modificaciones en la cuenca como asentamientos humanos y actividades productivas.

De los sitios estudiados en particular los más impactados en la calidad de sus aguas durante la temporada de lluvias fueron: Chajúl (M2); Chixoy (M6) y La Pasión (M7), por el indicador de Fósforo Total (PT) por una importante influencia de pastizales y actividades agrícolas en Guatemala; y por Nitrógeno Total (NT), San Pedro (B1) y Pino-Suárez-Jonuta (B4) por la lixiviación de fertilizantes derivados mayoritariamente pastizales; en menor proporción vegetación natural y pequeñas áreas agrícolas. B3 y B6 por máximas cargas de PT en lluvias.

Por otro lado, Tzendales (M4) resultó ser la localidad con mejores características de calidad de agua con bajas concentraciones de nutrientes, lo que refleja un bajo impacto antropogénico sobre dicho afluente; ya que representa un afluente que pro-



viene de la Reserva de la Biosfera Montes Azules y es quizás, en términos de nutrientes, el sitio mejor conservado dentro de la zona de estudio, por lo que puede representar un punto clave de monitoreo de largo plazo.

Al descender desde la cuenca media, en ambas temporadas de muestreo, las concentraciones de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) se incrementaron debido a la acumulación y respiración del material orgánico transportado cuenca abajo; consecuentemente, las concentraciones de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) van gradualmente disminuyendo, lo que refleja que el proceso de desnitrificación se intensifica en la parte baja. Esto refleja muy claramente la importancia de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla como sistema de autodepuración y amortiguamiento de los efectos observados en la cuenca media.

Ambientalmente se diferencia la cuenca media de la cuenca baja por la variabilidad de los diversos parámetros y variables medidas. El caudal muestra una tendencia de incremento en la cuenca media hasta Balancán (B2) y una disminución hacia la desembocadura, definida por la dinámica de los hume-

dales y por la bifurcación del cauce principal hacia el río San Pedro y San Pablo, sin embargo, el aporte del río Grijalva incrementa nuevamente la descarga, en ambas temporadas, conjuntando ambas desembocaduras al Golfo de México.

## Conclusiones

- El estado general de mesotrofia que se presenta en la zona de estudio, muy probablemente está siendo amortiguado por la condición propia de los ríos tributarios que trasladan el material de un sitio a otro, cuenca abajo.
- Los bajos niveles de concentración de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$  y fósforo reactivo disuelto, fósforo (POD) y nitrógeno (NOD) orgánicos disueltos, y fósforo (POP) y nitrógeno (NOP) orgánicos particulados en ambas temporadas, reflejan un elevado reciclamiento del material orgánico de la cuenca, lo que también es indicio de una elevada producción primaria, acorde a un sistema altamente productivo y complejo en biodiversidad.

- El análisis de nutrientes mostró que, en su gran mayoría, los parámetros fisicoquímicos evaluados corresponden a la categoría de *permisible a no apto* para el contacto directo con humanos, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (DOF, 2003, p. 11-12).
- De los 16 puntos elegidos para evaluar la calidad del agua se determinó una condición de deterioro bajo en 4 sitios (M1, M2, M4 y M5) de los cuales Tzendales (M4) resultó con mejores características de calidad de agua con bajas concentraciones de nutrientes, lo que refleja un bajo impacto antropogénico sobre dicho afluente. Con un deterioro medio 8 sitios (M3, M6, B1, B2, B3, B5, B7 y B8) con un estado de conservación intermedio y 3 sitios con un deterioro medio-alto (M7, B4 y B6) con alto impacto por las transformaciones de su entorno.

## Recomendaciones

- Mantener los esfuerzos de monitoreo a largo plazo a través de la medición de parámetros fisicoquímicos, químicos y biológicos, para

continuar con la evaluación, caracterización y seguimiento de las principales fuentes de aporte de contaminantes en la cuenca, para valorar el impacto relativo de las principales actividades productivas y de las principales acciones correctivas que se gestionen en las diferentes subcuencas.

- Establecer un programa de capacitación de voluntarios y de participantes comunitarios para ampliar los esfuerzos de monitoreo y asegurar: 1) el apropiamiento social del diagnóstico continuo de la cuenca y sus principales afluentes y 2) enriquecer la cultura ambiental y científica comunitaria, incluyendo la participación directa de las autoridades correspondientes a todos los niveles.

## Bibliografía consultada

DOF (Diario Oficial de la Federación) (2003). Norma Oficial Mexicana nom-001-semarnat-1996 (aclaración a la nom-001-ecol-1996). Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Pp. 11 y 12.

Sendzimir, J., & Schmutz, S. (2018). Challenges in Riverine Ecosystem Management. In J. Sendzimir & S. Schmutz (Eds.), *Riverine Ecosystem Management. Science for Governing Towards a Sustainable Future* (First, pp. 1–16). Cham, Switzerland: Springer Open. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3>.

Weigelhofer, G., Hein, T., & Bondar-Kunze, E. (2018). Phosphorus and Nitrogen Dynamics in Riverine Systems: Human Impacts and Management Options. In J. Sendzimir & S. Schmutz (Eds.), *Riverine Ecosystem Management. Science for Governing Towards a Sustainable Future* (First, pp. 187–202). Cham, Switzerland: Springer Open. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3>.



Te invitamos a participar  
en nuestra publicación digital

# Impluvium

Con el tema:

## **CIBERSEGURIDAD EN EL SECTOR HÍDRICO**

Recepción de trabajos:  
**DEL 10 DE JUNIO**

**AL 1° DE SEPTIEMBRE DEL 2024**

Consulta los detalles en:

[www.agua.unam.mx/impluvium.html](http://www.agua.unam.mx/impluvium.html)

En un mundo cada vez más digitalizado, la ciberseguridad es una prioridad para todas las instituciones que forman parte del sector hídrico. En la última década, la adopción de tecnologías como sensores remotos, sistemas de información geográfica, mapeo satelital, Internet de las Cosas, Inteligencia Artificial, Big Data y machine learning ha experimentado un rápido crecimiento. Sin lugar a dudas, existen beneficios económicos, sociales y ambientales de su implementación, pero genera también un nuevo espectro de riesgos asociado a su funcionamiento; por ejemplo, los relacionados con la intervención o bloqueo en la transferencia de información entre instituciones o para la sociedad.

El sector hídrico no ha sido ajeno a la adopción de estas tecnologías. La gestión inteligente del agua, que entre 2016 y 2020 creció en promedio 19% cada año, es una forma de recopilar, compartir y analizar datos de equipos y redes de agua a través del uso integrado de información en tiempo real, con el objetivo de mejorar la gestión operativa y estratégica de los recursos hídricos.

Las entidades encargadas de gestionar y suministrar agua enfrentan diversos riesgos derivados de ataques cibernéticos. Estos incluyen: manipulación de las operaciones, alteración de procesos de distribución o tratamiento del agua, robo de información sensible sobre los usuarios o la infraestructura, modificación de los registros operativos, financieros y de facturación, entre otros. Estas amenazas pueden tener consecuencias en la salud pública, en la confianza de los usuarios en los servicios de agua y financieras y legales.

A pesar de los posibles impactos de las amenazas, los avances en materia de ciberseguridad continúan siendo insuficientes. De acuerdo con el BID, solo siete de los 32 países tienen establecido un plan de protección de la infraestructura crítica, lo que limita su capacidad para identificar y responder a tales amenazas. Para abordar estos desafíos, se propone fortalecer áreas estratégicas como mejorar la información sobre las amenazas de ciberseguridad, proporcionar capacitación y educación específica en el sector, ofrecer asistencia técnica y herramientas disponibles, así como financiar equipos o servicios de ciberseguridad.

Considerando lo anterior, en este número de Impluvium se esperan aportaciones relacionadas con los siguientes temas: áreas de oportunidad para reducir la vulnerabilidad en la gestión inteligente del agua, medidas y mecanismos de detección y prevención de amenazas, protocolos de respuesta y recuperación ante ataques, capacitación y educación sobre buenas prácticas de ciberseguridad, panorama regulatorio en torno a la ciberseguridad en el sector del agua, entre otros.



Te invitamos a participar  
en nuestra publicación digital

# Impluvium

Con el tema:

## AGUA Y AGRICULTURA

Recepción de trabajos:

**DEL 2 DE SEPTIEMBRE  
AL 1º DE DICIEMBRE DEL 2024**

Consulta los detalles en:

[www.agua.unam.mx/impluvium.html](http://www.agua.unam.mx/impluvium.html)

De acuerdo con la Agenda 2030 del Desarrollo Sostenible, alcanzar la seguridad alimentaria requiere de la implementación de prácticas agrícolas sostenibles. El Objetivo 2 plantea la duplicación de la producción agrícola mediante técnicas que minimicen el impacto negativo en los ecosistemas, así como la adopción de medidas de adaptación frente a eventos hidrometeorológicos extremos, como sequías e inundaciones. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la seguridad alimentaria se define como el estado en el cual “todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, seguros y nutritivos para satisfacer sus necesidades dietéticas y preferencias alimenticias para una vida activa y saludable”.

Esta misma organización proyecta que para el año 2050, la demanda de alimentos aumentará hasta un 60 por ciento, lo que podría impactar en la disponibilidad de agua a nivel global. En México, el 76 por ciento del agua es empleada en la agricultura, una tendencia que se observa en la mayoría de los países. En América Latina y el Caribe, los niveles de eficiencia de riego están en el rango entre el 30 y 40 por ciento, lo que indica una significativa área de oportunidad para la gestión sostenible del recurso hídrico.

Otro desafío en el vínculo agua y agricultura es la contaminación, por ejemplo, originada por el uso de plaguicidas o fertilizantes industriales.

En este número de Impluvium se esperan aportaciones sobre los siguientes temas: medidas de mitigación y adaptación ante el cambio climático, innovaciones en la infraestructura para la optimización del riego, sistemas de producción sostenibles y resilientes, enfoques integrales para reducir la contaminación agrícola, implementación de fuentes alternativas y soluciones basadas en la naturaleza para la producción agrícola, entre otras.

## Lineamientos para presentar artículos al *Impluvium*

---

1. La contribución debe ser un texto de **corte académico**, por lo que no debe personalizarse.
2. Los trabajos deben contener: título, nombre del autor o autores y su institución de adscripción, resúmen (de hasta 150 palabras), introducción, desarrollo, conclusiones y bibliografía consultada.
3. Las contribuciones deberán entregarse en formato de procesador de textos Microsoft Word, con letra Arial de 12 puntos e interlineado doble.
4. Los textos no deberán exceder **1,700 palabras**, incluyendo la bibliografía.
5. Las imágenes que deseen utilizarse en el texto se entregarán en archivo independiente en formato jpg a 150 dpi. En el documento de Word se referirán de la siguiente manera: Véase Figura 1.
6. Se utilizará el sistema de citas y referencias bibliográficas Harvard-APA. Este estilo presenta las citas dentro del texto del trabajo, utilizando el apellido del autor, la fecha de publicación y la página, por lo que no se requieren notas al pie de página. Ejemplo: (González Villarreal, 2013, p. 25).
7. Al final del trabajo la bibliografía se agrupará en el apartado “Bibliografía” y se colocará de la siguiente manera: autor, año de publicación (entre paréntesis), título, editorial y lugar de publicación. Ejemplo: González Villarreal, F. y Arriaga Medina, J. (2015). Expresiones de la inseguridad hídrica. Revista Ciudades, No. 105, Puebla, México.
8. Los editores realizarán una corrección de estilo y consultarán con los autores cualquier modificación sobre el contenido de la contribución.
9. El artículo debe enviarse al correo electrónico contacto@agua.unam.mx con el asunto **Artículo Impluvium: (tema)**.





# *Impluvium*

Publicación digital de la Red del Agua UNAM

Número 26, Enero - Marzo 2024

[www.agua.unam.mx](http://www.agua.unam.mx)