

IMPACTO DE AGUA RECUPERADA EN ESPECIES ACUÁTICAS *Elodea spp.*

^aIng. Diego Francisco Morales Salcido, ^aIng. Damaris Alatorre Villanueva ^bDra. Eva Viviana Sarmiento ^aDra. Mercedes Teresita Oropeza Guzmán

^a Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Tijuana, Blvd Alberto Limón Padilla s/n, Col. Otay, Tijuana, B.C. 22500, francisco6995@gmail.com.

^b Universidad Autónoma del Estado de Baja California, Calzada Universidad 14418 Parque Industrial Internacional Tijuana, Tijuana B.C. 22427.

Resumen

Teniendo en cuenta que el agua recuperada aún no cuenta con una red de abastecimiento en la ciudad por la falta de confianza que genera su color y olor peculiar, después del tratamiento, el presente proyecto pretende evaluar el efecto *in vitro* del agua recuperada utilizando un modelo acuático adaptado al clima de la región (*Elodea spp.*). Durante el tiempo de estudio, que fue de 4 meses, se expuso la planta acuática *Elodeas spp.* al agua recuperada para eliminar el color y olor que contiene el agua. Con ello se realizaron mediciones periódicas de clorofila y carotenoides totales como indicadores del desarrollo óptimo de la especie acuática. De la misma manera, se evaluaron las propiedades fisicoquímicas del agua recuperada tales como pH, conductividad eléctrica, nitrógeno total, fósforo total, oxígeno disuelto y salinidad, para puntualizar el efecto que llega a ocasionar el agua recuperada en especies acuáticas.

Palabras clave— Agua recuperada, Clorofila, Carotinoides, *Elodea spp.*

Abstract

Taking into account that the recovered water still does not have a supply network in the city due to the lack of trust generated by its color and peculiar smell, after treatment, this project aims to evaluate the *in vitro* effect of recovered water using an aquatic model adapted to the climate of the region (*Elodea spp.*). During the study time, which was 4 months, the aquatic plant *Elodeas spp.* was exposed. To the recovered water to eliminate the color and odor contained in the water, periodic measurements of chlorophyll and total carotenoids were carried out as indicators of the optimal development of the aquatic species. In the same way, the physicochemical properties of the recovered water will be evaluated, such as pH, electrical conductivity, total nitrogen, total phosphorus, dissolved oxygen and salinity, to point out the effect that the recovered water may have on aquatic species.

Keywords—*Chlorophyll, Carotenoids, Elodea spp, Recovered water.*

1. INTRODUCCIÓN

La Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT) Tijuana B.C. cuenta con dos plantas de tratamiento de agua que producen agua de calidad de reusó (agua

recuperada NOM-003-SEMARNAT-1997). El agua recuperada producida en ambas plantas es descargada principalmente a la cuenca del Río Tijuana. Considerando la escasez de agua en la región noroeste del país, el reto es generar confianza y buscar el aprovechamiento del agua recuperada, no solo como una fuente de riego a zonas verdes de la ciudad, si no también buscando un aprovechamiento de la misma para riego de hortalizas e invernaderos.

La gestión sostenible del agua se convertido en un desafío global crucial, especialmente en regiones propensas a sequía. En respuesta a esta problemática, numerosos países han implementado soluciones naturales como innovadoras para maximizar el aprovechamiento de los recursos hídricos limitados en cada región. Una de estas soluciones es el uso de agua recuperada, un recurso vital obtenido a través del tratamiento avanzado de agua residuales y otras fuentes no convencionales.

A nivel internacional, diversos países han adoptado estrategias en el aprovechamiento del agua, algunos de los ejemplos más notables son Estados Unidos donde se han establecido sistemas para el uso de agua recuperada en actividades de riego, principalmente en regiones afectadas por los escasos de agua sobresaliendo los estados de California y Texas.

Israel, Singapur, Australia y los Emiratos Árabes Unidos también están trabajando en la implementación de tecnologías para gestionar eficientemente el aprovechamiento del agua a través de la desalinización y tratamiento de agua residuales.

2. CONTENIDO

Considerando que el suministro de agua para la Ciudad de Tijuana, B.C. como principal fuente el acueducto del Río Colorado, la producción de agua con calidad de reusó (alrededor de 550 L/s recuperada) representa una oportunidad para mejorar la gestión integral del agua. Si bien el agua recuperada podría utilizarse en diversas actividades, a la fecha no existe un estudio sistemático y del dominio público que muestre los riesgos de impacto ambiental que sustente su uso sin temor a causar efectos nocivos a la salud humana. Por otra parte, el agua recuperada tiene un color y olor peculiar que no llega a tomarse en cuenta para su aprovechamiento por el desconocimiento e ignorancia de procedencia. Con estos dos antecedentes, se justifica la realización del estudio de impacto de agua tratada en especies acuática *Elodea spp* que generen datos puntuales sobre la eliminación del color y olor en agua tratada para general un tratamiento alternativo para eliminación de estos dos factores en el agua tratada aumentando su confianza para consumo humano.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Como primer paso se colecto agua recuperada de la planta de tratamiento de agua residual “La Morita” en recipientes de polietileno de 10 litros. Una vez en el laboratorio, se

determinó el pH, conductividad eléctrica y salinidad del agua recuperada colectada y agua control (agua de comercial).

Posteriormente, se colocaron muestras de *Elodea spp* de 10 cm longitud, recolectadas previamente de cultivos *in vitro*, en seis diferentes recipientes que contenían, agua recuperada y agua control, respectivamente. Se realizaron mediciones basales de clorofila A, clorofila B y carotenoides totales de las *Elodeas*, previos a su exposición a las diferentes muestras de agua.

Cada 2 semanas, se muestrearon las plantas acuáticas con la finalidad de evaluar su desarrollo y/o cambios morfológicos, a la par de las determinaciones de clorofilas y carotenoides. En el mismo periodo de tiempo, se tomaron alícuotas de agua de cada uno de los recipientes para evaluar algún cambio en sus propiedades fisicoquímicas durante el tiempo del experimento (pH, conductividad y salinidad).

El primer muestreo de las algas, se realizó a las 2 semanas según el protocolo diseñado. Se tomaron ≈ 10 cm de elodea de cada uno de los sistemas las cuales fueron secadas y maceradas (≈ 60°C durante 48 h para eliminar mayor cantidad de agua sin dañar su composición fitoquímica). Seguido, se realizaron extractos orgánicos de las diferentes muestras pulverizadas, utilizando Dimetil sulfóxido (DMSO) durante 2 h a 50-60°C y se llevaron al espectrofotómetro para su análisis UV a diferentes longitudes de onda, según el compuesto a analizar. (2)

RESULTADOS

En esta sección se presentan los valores fisicoquímicos de los dos tipos de agua utilizados durante cuatro meses (muestreadas cada dos semanas). En la tabla 3 y tabla 4 que se presentan a continuación, se agrupan los análisis de pH, C.E. y contenido de sal en agua.

En lo que respecta al crecimiento de planta *Elodea spp.* se determinó la diferencia de longitud alcanzada por la planta después de los 10 cm iniciales (Figura 1). En las tablas 1 y 2, se presenta la evolución observada considerando que después de dos semanas se elimina una planta que se destinó al análisis de composición.

Finalmente, los valores de clorofila y carotenoides en *Elodea spp.* se obtuvieron macerando la planta y haciendo una extracción por solvente de DMSO para posteriormente ser leídas en el espectro de UV-Vis. Los cálculos se realizaron utilizando el modelo descrito a continuación (2), tomando como ejemplo solo la primera medición:

En agua recuperada

$$A665 = 0.00676$$

$$A649 = 0.02616$$

$$A480 = 0.00732$$

$$\text{clorofila A} = (12.19 \times A665) - (3.45 \times A649) \quad [1]$$

$$\text{clorofila A} = (12.19 \times 0.00676) - (3.45 \times 0.02616) = -7.8476 \times 10^{-3} \text{ mg/kg}$$

$$\text{clorofila B} = (21.94 \times A480) - (5.32 \times A665) \quad [2]$$

$$\text{clorofila B} = (21.94 \times 0.02616) - (5.32 \times 0.00676) = 0.5379 \text{ mg/kg}$$

$$\text{carotenoides} = \left[\frac{(1000 \times A480) - 2.14 \times \text{Clorofila A} - (70.16 \times \text{Clorofila B})}{220} \right] \quad [3]$$

$$\text{carotenoides} = \left[\frac{(1000 \times 0.00732) - 2.14 \times 0.05299 - (70.16 \times 0.5379)}{220} \right] = -0.1387 \text{ mg/kg}$$

Los resultados presentados en la tabla 1 y tabla 2, son los valores iniciales y finales de clorofila y carotenoides en las plantas durante el tiempo del estudio.

Tabla 1. Mediciones iniciales de clorofila y carotenoides de la planta acuática, ND (no determinada).

Muestra	clorofila A	clorofila B	carotenoides
Agua recuperada	7.84×10^{-3}	0.5379	ND
Agua comercial	ND	0.8428	ND
Agua de llave	ND	14.481	ND

Tabla 2. Mediciones finales de clorofila y carotenoides de la planta acuática, ND (no determinada).

Muestra	clorofila A	clorofila B	carotenoides
Agua Recuperada	1.59	10.41	4.27
Agua Comercial	ND	53.77	27.96

Y los resultados para los tres tipos de agua utilizados se muestran en la tabla 3 y 4.

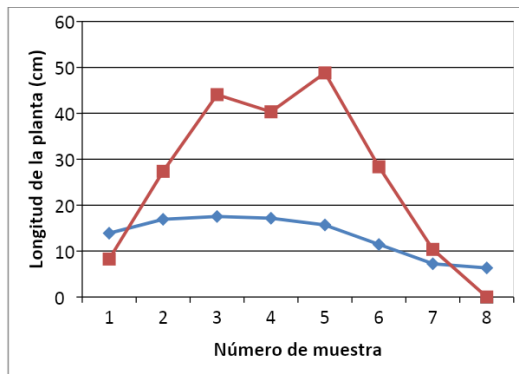
Tabla 3. Mediciones iniciales del agua.

Muestra	pH	C.E. (µS/cm)	Salinidad (%)
Agua comercial	8.62	42.2	0
Agua Recuperada	7.98	2020	0.09
Agua de llave	8.66	1293	0.06

Tabla 4. Mediciones finales del agua.

Muestra	Ph	C.E. (µS/cm)	Sal (%)
Agua Comercial	9.191	26.5	0.01
Agua Recuperada	9.696	989	0.46

Fig. 1. Evaluación de crecimiento de macrofitas acuáticas comparando: agua recuperada (■) con agua comercial (◆).



En la figura 2 se observa una imagen lograda con el microscopio óptico, previo a iniciar el experimento de eliminación de color y olor del agua recuperada. Por otra parte, las figuras 3 y 4 corresponden a las imágenes de la *Elodea spp.* después de los 4 meses en contacto con agua tratada

Fig. 2. Macrófito acuática sumergible *Elodea spp.* sana.



Fig. 3 y 4. Macrófito acuática sumergible *Elodea spp.* después de los 4 meses en contacto con agua tratada



Tabla 3. Promedio de minerales encontrados en las diferentes muestras de agua tratada y comercial.

Promedio de metales por triplicado	Na	Mg	Ca	K
Muestra Basal de agua recuperada	162.4	31.58	86.08	43.41
1ra muestra de agua tratada	172.63	27.63	51.08	45.31
1ra muestra de agua comercial	5.03	0.11	0.41	5.56

2da muestra de agua recuperada	172.12	30.79	53.62	47.72
2da muestra de agua comercial	4.85	0.12	0.743	5.87

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio del impacto del agua recuperada en el desarrollo de las plantas *Elodeas spp* expuestas al agua recuperada es una contribución muy valiosa para sustentar el reusó del agua recuperada. Las plantas presentaron una morfología típica y mayor crecimiento, con respecto al agua comercial, como resultado de su adaptación a las condiciones que influencia el agua recuperada en el medio (pH, Conductividad eléctrica, salinidad.).

Por otra parte, en el análisis de las muestras de agua, se observó como el agua recuperada fue perdiendo su coloración característica a medida que avanzaba el experimento. Dicho color está asociado a los compuestos orgánicos disueltos, que la planta pudo haber utilizado como fuente de nutrientes, resultando en el aclaramiento del agua y el crecimiento de las mismas.

En el análisis químico de las muestras de agua se observó cómo los valores de pH de las muestras de agua recuperada y comercial aumentaron ligeramente en las primeras semanas, con respecto a la medición basal, para después mantenerse constantes hasta el término del estudio. Esta elevación del pH podría deberse a cambios metabólicos de las algas como proceso de adaptación, que trajo como consecuencia la expulsión de metabolitos o iones alcalinos al medio que contribuyeron al aumento del pH.

La concentración de clorofila y de carotenoides realizadas a las plantas, expuestas a ambos sistemas, agua recuperada y agua comercial, las cuales aumentaron en las primeras semanas del experimento y posteriormente se mantuvieron, como resultado de la adaptación al medio. Tal aumento fue mayor en las algas sumergidas en agua recuperada, podría ser el resultado de la utilización de los compuestos orgánicos disueltos en el agua, que permite la optimización de los procesos metabólicos de las algas, como la producción de clorofila y/o carotenoides.

En las condiciones de nuestro experimento, no se observaron efectos negativos de la exposición del agua recuperada sobre las *Elodea spp.*, ya que los cambios en los parámetros estudiados durante el tiempo del experimento, se encuentran dentro de los parámetros permitidos según la NOM-003-SEMARNAT-1997.

Es importante ya que más de cuarenta y siete millones de litros de agua recuperada, provenientes de las dos plantas de tratamiento que se encuentran en Tijuana B. C., son descargadas al océano pacífico. Dicha masa de agua puede llegar a utilizarse en el consumo humano de la ciudad evitando pérdidas del agua y teniendo una mayor sustentabilidad del agua en la ciudad.

Estos resultados, resaltan la importancia de aumentar los trabajos científicos que investiguen sobre esta práctica, para obtener datos mayores y a largo plazo, que permitan concientizar y educar sobre la descarga de agua recuperada a los océanos, y al mismo tiempo proponer alternativas para el aprovechamiento del agua recuperada, en otros sistemas donde sus beneficios sean mayores, como en la agricultura y/o hidroponía.

3.1 Observaciones generales

Se realizó un estudio por triplicado de agua tratada y agua comercial. Entre las observaciones importantes que se hicieron está que la cantidad de luz y la temperatura pueden llegar a acelerar el proceso de las macrófitas acuáticas sumergibles *Elodea spp.*, eliminando más rápido de color y olor del agua tratada en un mes.

4. REFERENCIAS

- [1] Martelo, Jorge y Lara Borrero Jaime A. . Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*. 2012;8(15):221-243.[fecha de Consulta 01 de febrero de 2024]. ISSN: 1794-9165. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83524069011>
- [2] Sigmond L. Solymosy, Edward O. Gasgstad. Nomenclature, taxonomy and distribution of *Egeria* y *Elodea*. professor de horticulturay chief, acuatic plant control program. University of Southwestern.
- [3] Terneus Jácome, E. (2017). Vegetación acuática y estado trófico de las lagunas andinas de San Pablo y Yahuarcocha, provincia de Imbabura, Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas* , 35 (1–2), 121–131.
- [4] Zetina Moguel Carlos Enrique, Pat Canul Roberto Juvenio, Peniche Ayora Irene Josefina, Sauri Salazar Víctor Manuel. Estudio sobre el uso de macrofitas sumergidas para el tratamiento de agua. Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Ingeniería. Coordinación de Ingeniería Ambiental. FECHA
- [5] Marcos Mateus y Ramiro Neves, Ocean modelling for coastal management Case Studies with MOHID, first published in portugal in January 2013.
- [6] Ruhul Izzati Binti Shaharuddin, potential of aquatic plant species as phytoindicators for heavy metal contaminants, copyright international islamic university Malaysia, junio de 2014
- [7] Hladik Jean, La Biofísica, Fondo Cultural Económica, México D.F 1982 Pág.46-55
- [8] Pompelli, M.F., França, S.C., Tigre, R.C., Oliveira, M.T., Sacilot, M., and Pereira, E.C. Spectrophotometric determinations of chloroplastidic pigments in acetone, ethanol and dimethylsulphoxide. *Brazilian Journal of Biosciences*, v(11), 52-58.
- [9] Morales Salcido, Diego Francisco, Torres Miranda, Elizabeth, Guzmán Hernández, Evely Ailyn, Sarmiento Gutierrez, Viviana, Beltran Ortega, María Azucena, Oropeza Guzmán, Mercedes Teresita. Analisis sobre el impacto del riego utilizando agua recuperada en suelo y plantas como *Helianthus annuus* (girasol) y *Cucumis Sativus* (pepino).

Numero especial de la revista Aristas: investigación básica y aplicada, vol. 7, numero 14, año 2019.