

Guanajuato rumbo al desarrollo sustentable: Estudio de caso de acuicultura sostenible para comunidades de alto riesgo eco-toxicológico

Tinoco Lemus Jacqueline¹, Medina Mejía Ma. Guadalupe^{***1}, Serafin Muñoz Alma Hortensia^{***1}

¹Departamento de Ingenierías Civil y Ambiental de la División de Ingenierías del Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato
mg.medina@ugto.mx^{*}
sermuah@ugto.mx^{**}

Resumen

La acuicultura y la pesca son actividades económicas con un impacto ambiental menor y se realizan cada vez en mayor medida.

En la presa La Purísima se han detectado alteraciones notables en la salud ambiental debido por los ríos y escurrimientos urbanos que desembocan en ella. Por lo que los peces se encuentran en alto riesgo, así como la cadena trófica subsecuente. El objetivo de este trabajo fue analizar los metales y metaloides en los peces de este cuerpo de agua, así como proponer la crianza controlada de peces y el uso del agua residual provenientes de las peceras como biofertilizantes agrícolas. En los resultados obtenidos se observaron altas concentraciones de Cr, Cd, Pb y As en las pieles de los peces. Por otro lado, se observaron resultados favorables en la utilización del agua proveniente de crianzas controladas como biofertilizantes agrícolas. Este trabajo contribuye en la propuesta de la implementación de la acuicultura y piscicultura sustentable como actividades socioeconómicas para las comunidades cercanas a los cuerpos de agua dulce.

Palabras clave: Chirostoma sp., Oreochromis sp. biofertilizante, arsénico, mercurio, cadmio, Presa de la Purísima.

Introducción

A nivel mundial varias comunidades dependen de la pesca en aguas dulces como presas o ríos (Greenfeld et al., 2019; Jolly & Clonts, 2020; Puy-Alquiza et al., 2017; Roman & Brennan, 2021). La pesca, como actividad económica a nivel nacional, se impone a un ritmo acelerado, situación que podría interpretarse de forma optimista si implicara una disminución de las capturas sobre los recursos de las aguas marinas y continentales, pero no es así. La mayoría de los sistemas de producción están destinados a la crianza de tilapia. El agua utilizada para esta producción proviene de pozos, estanques, presas, manantiales o ríos. Para que se garantice una alimentación segura, estos cuerpos de agua en los que se realiza la pesca o de donde se extrae el agua para la crianza de peces, debe ser limpia. Un problema que se encuentra muy presente actualmente es la contaminación de cuerpos de agua por metales pesados (Saunders et al., 2012). La mayoría de esta contaminación proviene de las actividades industriales de las zonas en las que se encuentra el cuerpo de agua.

En el Estado de Guanajuato México, se localiza la Presa de la Purísima. Este cuerpo de agua tiene una capacidad de almacenamiento de 60 millones m³ de agua, las cuales 25.4 millones están destinadas a la agricultura; actualmente la presa proporciona agua para irrigar 4,500 ha en los municipios de Irapuato y Guanajuato (Luisa et al., 2018; Noyola-Medrano & Rojas-Beltrán, 2013; Reyes, 2018; Zanor et al.). Ésta representa el 5.6% del total de la superficie de la cuenca Lerma-Chapala. Entre los usos y principales actividades económicas se encuentran la pesca, el turismo y la agricultura. Actualmente este cuerpo de agua presenta serios problemas de contaminación debido al manejo inadecuado de los servicios ambientales del cuerpo de agua. Los sistemas acuáticos están formados por componentes abióticos y bióticos que incluye tanto la flora como la fauna. En los sistemas acuáticos los sedimentos son de gran importancia ambiental ya que pueden ser la fuente de contaminantes como metales pesados y compuestos orgánicos como hidrocarburos poliaromáticos (PAHs) y plaguicidas. En relación con el impacto ecológico se evidencia una alta contaminación por descarga de aguas residuales (domésticas en industriales), grandes florecimientos

algales debido a una alta eutrofización del embalse que afectan en el aspecto de la pesca a la especie nativa *Menidia jordani* y a las introducidas *Oreochromis sp.*, *Cyprinus carpio*, *Goodea atripinnis* y *Xenotoca variata* (Aldaco et al., 2016).

Se cuenta con estudios previos que demuestran la presencia de metales y metaloides tóxicos debido a las aguas residuales que se descargan en la presa (Alquiza et al., 2017; Flores & Zantor, 2017; Puy-Alquiza et al., 2017; Puy-Alquiza et al., 2019; Zantor et al.). Esto genera una problemática severa para la salud ambiental de la región, dado que las principales actividades económicas de la zona es la pesca y la agricultura, las cuales proporcionan alimento a los pobladores de las comunidades aledañas. En el presente trabajo se llevó a cabo la justificación y la búsqueda de alternativas como propuesta de solución con el manejo de acuicultura sustentable como una alternativa de actividad económica para los habitantes de las comunidades aledañas a la Presa de la Purísima.

Metodología

Etapa 1: Análisis de muestras bióticas de la presa.

Los peces se recolectaron durante la temporada de lluvias. La recolección fue con apoyo de los pescadores, con el sistema de trampas con redes, en varios puntos de la Presa de la Purísima. Se transportó en un contenedor, 10 peces, hasta el conjunto de laboratorio de la Perlita, donde se les colocó en una pecera hecha a partir de una garrafa de 20 litros (2 peces por pecera), dejándoseles en un medio con agua corriente y agua de la presa (50:50). Los peces no sobrevivieron, por lo que fueron congelados para realizar posteriormente una autopsia. Se lavaron con agua corriente para quitarle sus escamas, y se procedió con la autopsia. Se abrió uno de los pescados, se le retiró la piel para posteriormente pesarse 1 gramo de esta en tubos de reacción. Se procedió con la digestión de las muestras en medio ácido. Se pesaron aproximadamente 1 gr de piel en cada uno, a estos se le sometió a una digestión con 2 ml de ácido nítrico (HNO_3) en cada uno de los tubos. Se utilizó el Baño Seco de la marca Felisa, en donde se llevo a 60°C por 30 min, posteriormente a 100°C por 3 h. Una vez frías la muestras, se agregó 2 ml de peróxido de nitrógeno (H_2O_2) al 35%. Para finalizar se diluyeron las muestras a 25 ml con agua destilada.

Etapa II: Propuesta del diseño de tanque de cría de peces

Para proponer el diseño de los estanques, primero se tomó en cuenta la localización de las comunidades cercanas a la presa, se consideró la cantidad de peces que se desean crían en cada uno de los estanques, el número de cultivos que se regarían con el agua de los estanques y con esto determinar el volumen y las condiciones que se necesitan. Considerando las características morfológicas de los pescados que se recolectaron de la presa de la Purísima, es de la especie inducida *Oreochromis sp* (Sanchez, 2018; Vega De La Salazar, 2003). Para el diseño se utilizó el software de AutoCAD® LT v.f 2020. Posteriormente se compraron 10 peces pequeños, en un acuario local de la ciudad de Guanajuato, de la especie *Chirostoma sp.* (charales) y se colocaron en un estanque de 20lt (en base al diseño propuesto) con un oxigenador de la marca Bomba De Aire Elite 799. Se les alimentó con pellets molidos de la marca comercial Lomas. La alimentación fue de

0.5 g; 2 veces al día, c/12h. El cambio de agua fue cada tercer día. El agua de desecho fue analizada para posible uso como biofertilizante.

Etapa III: Análisis, caracterización y uso del agua de desecho del criadero (ADC) de peces a escala laboratorio.

Se analizaron 17 parámetros en las muestras de agua obtenida del criadero de peces. Los reactivos utilizados fueron de la marca Hach y Lamotte. El análisis fue llevado a cabo en base a las metodologías establecidas por la compañía Hach y Lamotte. Se utilizó el espectrofotómetro de UV-vis DR3900; los equipos colorimétricos

Hach DR900 y Lamotte 1910 Smart 3. Las muestras fueron filtradas y analizadas por triplicado. En la figura 1, se muestra el esquema general de las metodologías empleadas.

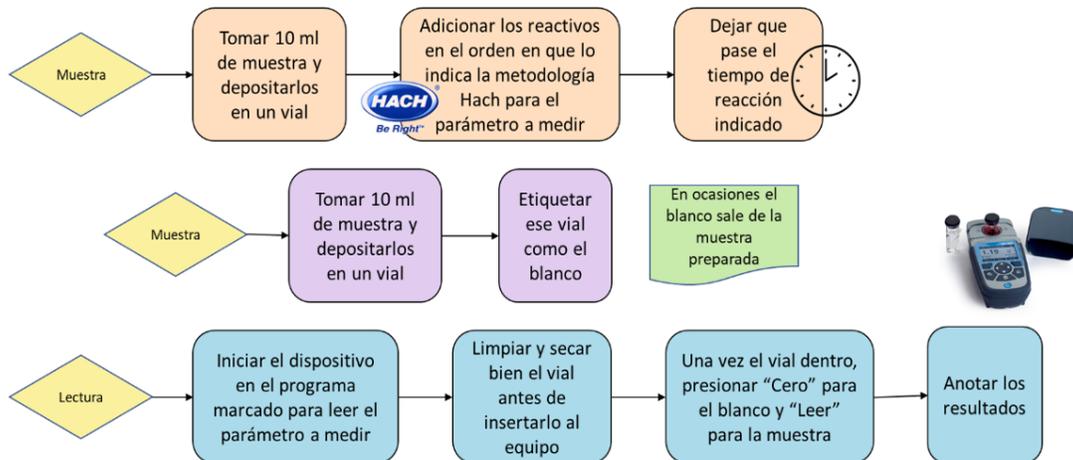


Figura 1. Metodología general para el uso del dispositivo Hach.

Etapa IV: Uso del ADC como biofertilizante en plantas

Germinación de semillas

Para poner a prueba el ADC como fertilizante, se germinaron semillas de albahaca. Se formaron 3 grupos, el grupo 1 (G1) que se tomó como el grupo control, el cual se regaría con agua corriente, el grupo 2 (G2) que sería regado con el adc y el grupo 3 (G3) que se regaría con fertilizante químico diluido en agua corriente al 5%. La finalidad de esto es verificar la eficacia del biofertilizante proveniente del adc en comparación con los fertilizantes químicos comerciales y con el crecimiento natural de la planta, sin ningún fertilizante.

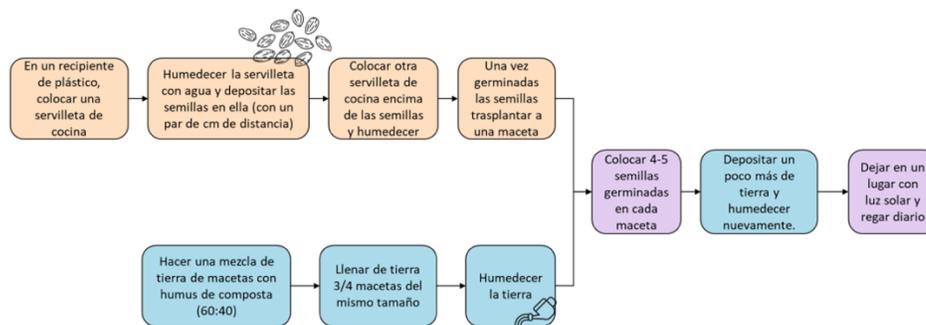


Figura 2. Metodología para la germinación de las semillas

Riego de esqueje de plantas

Se utilizó la planta Tradescantia spathacea, por su versatilidad y adaptación a diferentes ambientes, para el uso del biofertilizante. Se realizaron 3 esquejes, para replicar la metodología anterior: una planta control (P1),

una para el biofertilizante, ADC, (P2) y la última para el fertilizante químico (P3). Estos se colocaron en una maceta con tierra mezclada con humus de composta (60:40), se humedeció esta tierra con el agua indicada para cada grupo, se colocó el esqueje correspondiente y se regaron todos los días, por 15 días consecutivos. Se tomó medida de las hojas de cada planta el día que se realizó el esqueje, una semana después y 15 días después.

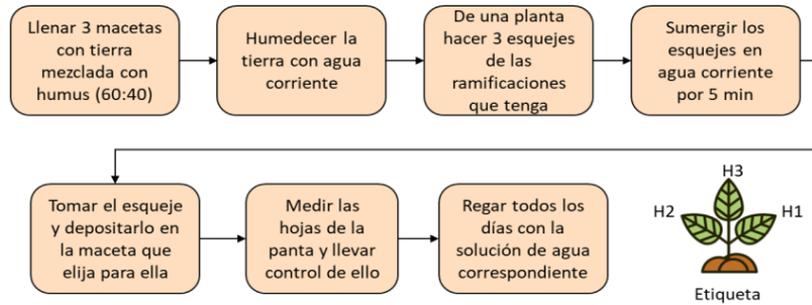


Figura 3. Metodología del riego y control de esquejes

Resultados y discusión

En la tabla 1 podemos observar la concentración que se encontró absorbida en la piel del pescado. Desafortunadamente y por razones desconocidas, el interior de los pescados estaba deshecho, no había órganos internos, por lo cual no se pudo extraer muestra de estos para analizarlos y comparar si las concentraciones varían según el tejido. De igual manera podemos ver que los valores obtenidos, en especial del Cadmio (Cd) son muy elevados. Estamos hablando de concentraciones encontradas en 1 gramo de tejido. En la figura 4 podemos apreciar los peces en estudio.

Tabla 1. Parámetros obtenidos del análisis de pescado de la presa de la Purísima

Parámetro	Resultados (mg/L)	NOM-242-SSA1-2009 (mg/L) ⁽⁷⁾
Aluminio	0.95	
Arsénico	0.65	
Cadmio	16.675	0.5
Cianuro	0.1	
Cromo total	4.5	
Plomo	2.8	0.5



Figura 4. Obtención de muestras de piel en peces (*Oreochromis sp.*) provenientes de la presa La Purísima, previos a la digestión ácida para el análisis de metales y metaloides.

En seguimiento con la etapa II, se realizó una propuesta para el diseño de los estanques en donde se realizaría la cría de los peces. La figura 5 nos representa un estanque que aproximamos nosotros sería de 30 m³, espacio suficiente para el adecuado crecimiento y movimiento de los peces. Se recomienda que sus dimensiones sean: 10m de largo, 2m de ancho y 1.5m de profundidad, para también tener fácil acceso a los peces una vez que alcancen su madurez y estén listos para su venta al mercado. Es necesario también contar con una bomba de aire eléctrica para mantener aireado el estanque. Monitorear el pH, el cual lo determinará el pescado a cultivar y las plantas a las que se les regará. La conductividad eléctrica que no sobrepase de 1500µs/cm por la misma seguridad de los cultivos piscícolas y agrícolas.

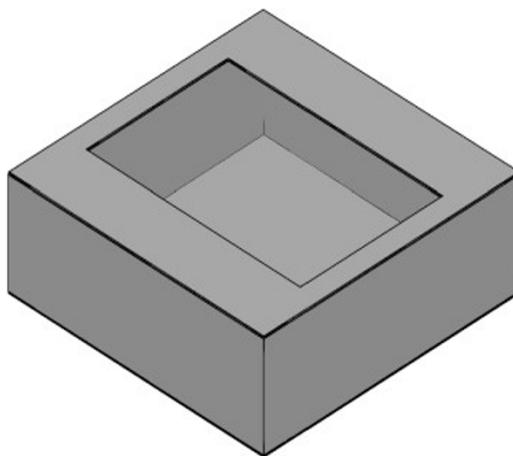


Figura 5. Diseño de pecera para criadero de peces

El agua recolectada de las peceras se sometió a diversos análisis para determinar la calidad de la misma. Se priorizó la búsqueda de metales y metaloides en el agua, así como la presencia de nitrógeno, siendo este el mayor nutriente para las plantas, sulfuros y cloro, parámetros que nos ayudan a conocer las condiciones en las que habitan los peces. En la tabla 2 podemos ver los valores obtenidos en cada una de las pruebas.

En la tabla tenemos los valores obtenidos y la comparativa con la NOM-001-SEMARNAT-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales den aguas y bienes nacionales, en la cual se especifica el uso agrícola de dichas aguas. Es por esta razón que se tomaron como referencia los valores establecidos en esta norma, suponiendo que los efluentes residuales de la acuaponía vayan a dar a un cuerpo de agua que se utilice directamente para el riego.

Se puede observar que hay varios parámetros que no están regulados pero que de igual manera nos es de utilidad tenerlos, ya que con estos somos conscientes de las cualidades del agua con que estamos trabajando y los elementos que se les provee a las plantas, si les son benéficos o caso contrario.

Tabla 2. Parámetros obtenidos del biofertilizante (ADC).

Parámetro	Resultados (mg/L)	NOM-001- SEMARNAT- 1996 (mg/l) ⁽⁸⁾
Aluminio	0.042	
Bario	0.00	
Bromo	0.49	
Cadmio	0.045	0.2
Cianuro	0.00	2
Cloro libre	0.00	
Cloro total	0.23	
Cromo Hexavalente	0.22	1*
Hierro	0.00	
Nitratos	1.70	
Nitritos	0.00	
Nitrógeno Amoniacal	2.40	
Manganeso	0.60	
Plomo	0.036	0.5
Sulfato	53	
Sulfuro	0.02	
Zinc	0.27	10

La utilización del ADC como biofertilizante para riego de plantas y semillas, mostraron resultados interesantes. Lo que podemos ver a través de esta tabla 3 es que la P1, que es el control, tomó más tiempo en enraizar, por lo tanto se fueron secando sus hojas, mientras que a P2, regado con ADC, le costó un poco adaptarse durante la primera semana, pero la siguiente ya estaba recobrando su tamaño, mientras que la P3 se mantuvo un poco más estable, solo que desde la primera aplicación, hecha con rociador, se quemó una de las hojas por lo agresivo que es el fertilizante químico, así que se optó por regar solamente la tierra, en las orillas de la maceta, lo más lejos posible de la raíz .

Tabla 3. Medidas de crecimiento en hojas de las plantas estudiadas (cm).

	Hoja 1	Hoja 2	Hoja 3
P1	5.4	6	4
P2	7.4	6.8	5.3
P3	9.8	8.5	6
Medidas a los 7 días (cm)			
	Hoja 1	Hoja 2	Hoja 3
P1	5.5	5.9	3.8
P2	7.3	6.3	5.1
P3	9.5	8.7	5.9
Medidas a los 15 días (cm)			
	Hoja 1	Hoja 2	Hoja 3
P1	5.5	5.5	4
P2	6.7	6.5	5.5
P3	9.4	8	6.3

Los resultados del crecimiento de Tradescantia spathacea se muestran en las imágenes 1 al 3; de las imágenes 4 al 7 el germinado y crecimiento del albahacar. En ambos casos de estudio se observan el grupo control, con el biofertilizante (ADC) y fertilizante comercial. Podemos observar en las imágenes que el grupo regado con fertilizante químico, G3, está un poco seco y marchito, esto se lo atribuimos a lo abrasivo que el fertilizante para que tenga un contacto tan directo con la planta, la cual está apenas creciendo. El grupo control, G1, y el grupo regado con adc, G2, están en mejores condiciones, pero se alcanza a distinguir que el G2 es más grande que el G1.



Imagen 1. Plantas recién sembradas



Imagen 2. Plantas después de 7 días



Imagen 3. Plantas después de los 15 días



Imagen 4. Bolsa de semillas y semillas germinadas a los 10 días



Imagen 5. Macetas con tierra



Imagen 6. Albahaca 10 días después de trasplantarse



Imagen 7. Albahaca 20 días después del trasplante

Conclusión

Los peces provenientes de la Presa de la Purísima no son aptos para el consumo humano. Es urgente que este cuerpo de agua reciba un tratamiento sustentable, y analizar el origen de las descargas de efluentes industriales y urbanos hacia el mismo ya que representa una amenaza para la salud humana y ambiental. Con la propuesta de los tanques de cría y la obtención de biofertilizante a través de la acuaponía, se busca proveer de alimentos sanos y seguros a los pobladores de las comunidades cercanas a la presa, a par de crear un sistema de economía circular, donde se reduce la generación de residuos provenientes de esta actividad en que los peces alimentan a las plantas y las plantas a los peces. Este trabajo contribuye en la propuesta de implementación de las actividades de acuacultura sustentable para mejorar la calidad de vida de los habitantes de comunidades aledañas a cuerpos de agua contaminados.

Agradecimientos

Los autores agradecen al comité de Veranos UG 2022 y a la DAIP-UG por el apoyo otorgado, así como a la Secretaría del Edo de Guanajuato IdeaGTO, ya que este producto forma parte del proyecto Guanajuato Rumbo al Desarrollo Sustentable: Caso de Estudio Comunidades Sostenibles Etapa 2.0, (070/2021); 2021-2022.

Referencias

- Aldaco, P. V., Iturvide, F. A., & Lucio, M. A. M. (2016). Estudio microbiológico de dos cuerpos de agua del estado de Guanajuato: "La Presa la Purísima" y "Laguna De Yuriria". *Jóvenes en la Ciencia*, 2, 71-75.
- Alquiza, M. J. P., Avilés, R. M., Barragán, J. C. G., Aguirre, I. L., Li, Y., & Zanor, G. A. (2017). Facies analysis, stratigraphic architecture and depositional environments of the Guanajuato conglomerate in the Sierra de Guanajuato, Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 69(2), 385-408.
- Flores, M. E. G., & Zanor, G. A. (2017). Evaluación de la contaminación por elementos traza en sedimentos de la presa La Purísima (Guanajuato). *Jóvenes en la Ciencia*, 2(1), 475-479.
- Greenfeld, A., Becker, N., McIlwain, J., Fotedar, R., & Bornman, J. F. (2019). Economically viable aquaponics? Identifying the gap between potential and current uncertainties. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 848-862. <https://doi.org/10.1111/raq.12269>
- Jolly, C. M., & Clonts, H. A. (2020). Economics of Aquaculture. <https://doi.org/10.1201/9781003075165>
- Luisa, R., Raul, M.-A., Maria Jesus, P.-A., & Zanor Gabriela, A. (2018). MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF STREAM SEDIMENTS, LA PURISIMA BASIN DAM, GUANAJUATO- MEXICO. *REVISTA INTERNACIONAL DE CONTAMINACION AMBIENTAL*, 34, 57-63.
- Noyola-Medrano, C., & Rojas-Beltrán, M. (2013). Relationship between spectral response and changes of water level: La Purísima Dam, Guanajuato, Mexico. In.
- Puy-Alquiza, M. J., Miranda-Aviles, R., Zanor, G. A., Salazar-Hernández, M., & Ordaz-Zubia, V. Y. (2017). Study of the Distribution of Heavy Metals in the Atmosphere of the Guanajuato City: Use of Saxicolous Lichen Species as Bioindicators. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 18(1), 111-126.
- Puy-Alquiza, M. J., Miranda-Avilés, R., Moncada, C. D., Li, Y., Loza-Aguirre, I., Ordaz Zubia, V. Y., . . . Salazar-Hernández, M. D. C. (2019). Los jales mineros como material de construcción en el Virreinato: Caso de estudio de la ciudad de Guanajuato, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 71(2), 543-564.
- Reyes, K. F. S. (2018). Geoquímica de sedimentos de la presa la Purísima (Guanajuato).
- Roman, B., & Brennan, R. A. (2021). Coupling ecological wastewater treatment with the production of livestock feed and irrigation water provides net benefits to human health and the environment: A life cycle assessment. *J Environ Manage*, 288, 112361. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112361>
- Sanchez, G. R. (2018). Evaluación de la contaminación de la presa La purísima mediante el análisis de metales, hidrocarburos y plaguicidas en muestras de agua, sedimento ya través del uso de biomarcadores en peces.
- Saunders, R. J., Paul, N. A., Hu, Y., & de Nys, R. (2012). Sustainable sources of biomass for bioremediation of heavy metals in waste water derived from coal-fired power generation. *PLoS One*, 7(5), e36470. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036470>
- Vega De La Salazar, M. Y. (2003). Situación de los peces dulceacuicolas en México. *Ciencias*(072).
- Zanor, G. A., García-Flores, M. E., Pasquini, A. I., Lecomte, K. L., González-Castañeda, J., & de Jesús Puy-Alquiza, M. (2017). Evaluation of sediment contamination and trophic state in the La Purísima water reservoir (central Mexico).