

## Uso potencial del bivalvo *Mytella charruana* en el tratamiento de aguas residuales. (Aplicación de *M. charruana* en la depuración de aguas residuales)

### *Potential application of Mytella charruana in wastewater treatment. (Application of M. charruana in wastewater treatment)*

DOI: 10.26640/22159045.437

Fecha de recepción: 2018-02-01 / Fecha de aceptación: 2018-03-30

Juan C. Valdelamar-Villegas\*, Jorgelina Pasqualino\*\* y Diana Herrera M.\*\*\*

**Valdelamar, J. Pasqualino, J. y Herrera, D. (2018).** *Uso potencial del bivalvo Mytella charruana en el tratamiento de aguas residuales. (Aplicación de M. charruana en la depuración de aguas residuales).* Bol. Cient. CIOH (36):41-52. ISSN 0120-0542 e ISSN en línea 2215-9045. DOI: 10.26640/22159045.437

#### RESUMEN

Con el propósito de evaluar la aplicación potencial de la especie *Mytella charruana* para su implementación en sistemas de biodepuración de aguas residuales procedentes de industrias del sector alimenticio, se realizaron actividades de campo vinculadas al muestreo de especímenes de *M. charruana*, y de muestras de agua, en la ciénaga de las Quintas en Cartagena de Indias. Los bioensayos de laboratorio se implementaron en acuarios de 20 L de capacidad, en los que se ubicaron organismos con agua del medio, y se cuantificó la tasa (%) de reducción de la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y de sólidos volátiles totales (SVT), presentes en el agua. Los resultados mostraron que la mejor tasa de remoción de la  $DBO_5$  ( $45.49 \pm 30.8$  %) y SVT ( $10.64 \pm 6.27$  %), se dio en el tratamiento conformado por especímenes de menores tallas ( $< 2.5$  cm) y agua con alta salinidad ( $\geq 25$ ). La información permitió el diseño conceptual de dos sistemas de biodepuración de aguas, uno de flujo horizontal y otro de flujo vertical; ambos adaptables a las necesidades de espacio, que suele ser un factor crítico en las empresas. Se concluye que *M. Charruana* posee un alto potencial de aplicación en procesos de biodepuración de aguas que contienen materia orgánica y sólidos volátiles, la cual puede disponerse en sistemas de flujo vertical u horizontal, para alcanzar una mayor eficiencia de remoción.

**PALABRAS CLAVES:** biodepuración, *Mytella charruana*, tratamiento de agua.

#### ABSTRACT

*Field activities related to sampling M. charruana specimens and water samples in the Ciénaga Las Quintas marsh in Cartagena de Indias were performed in order to evaluate the potential application of the species Mytella charruana in wastewater biodepuration systems from industries within the food sector. Laboratory bioassays were implemented in 20 liters' capacity aquariums where individuals were located with water from the environment, and the rate of biochemical oxygen demand ( $BOD_5$ ) (%) and total volatile solids (TVS) (%) reduction in water were quantified. The results showed that the highest removal rate of  $BOD_5$  ( $45.49 \pm 30.8$  %) and TVS ( $10.64 \pm 6.27$  %) occurs when the treatment involves the use of small organisms ( $< 2.5$  cm) in water with high salinity ( $\geq 25$ ). With the previous information, the conceptual design of two devices was developed: one with horizontal flow and one with vertical flow, both adaptable to space requirements, which is often a critical factor in the industry. It is concluded that *M. charruana* possesses a high application potential in biodepuration processes of water containing organic matter and volatile solids, which can be arranged in systems of vertical or horizontal flow, to reach a greater removal efficiency.*

**KEY WORDS:** Biodepuration, *Mytella charruana*, water treatment.

\* Grupo de Investigación Ambiental (GIA), Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena (Colombia). Correo: jvaldelamarv1@unicartagena.edu.co

\*\* Grupo de Investigación Ambiental (GIA), Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena (Colombia). Correo: jpasqualino@tecnologicocomfenalco.edu.co

\*\*\* Grupo de Investigación Ambiental (GIA), Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena (Colombia). Correo: dpherrera02@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

Por su contenido de elementos contaminantes, las aguas residuales deben ser tratadas antes de su disposición final. El tratamiento de estas aguas generalmente requiere una fase de biodepuración (Romero Rojas, 2008; Lafont, Pessel y Gauthier, 2014), a partir de fenómenos naturales como la degradación, metabolismo y uso de nutrientes por parte de plantas, microorganismos, y otro grupo de organismos con alta capacidad de remoción de los xenobióticos presentes en la columna de agua, como los bivalvos (Pascualino, Meneses, Abella y Castells, 2009; Binelli, *et al.*, 2014), que se caracterizan en su mayoría por tener una alta tasa de filtración del material suspendido en la columna de agua, especialmente de material orgánico, lo cual ha conferido a este grupo de animales, un papel relevante como regulador del material orgánico en suspensión y de la productividad primaria en los ecosistemas que habitan (Yidi y Sarmiento, 2011).

Además de la capacidad de filtración, algunas especies de bivalvos se caracterizan por su tolerancia a las condiciones ambientales poco tolerables para otros grupos de animales; lo anterior se debe a la capacidad que poseen de cerrar sus valvas y mantener su metabolismo mediante procesos anaerobióticos, como ocurre con la especie *M. charruana*, que ha sido encontrada en la ciénaga de las Quintas y la bahía de Cartagena de Indias, donde se ha reportado una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y sólidos volátiles en el agua (SVT), relacionados con altas concentraciones de materia orgánica en el sistema (Puyana, Prato y Díaz, 2012; Tirado, Manjarrez y Díaz, 2010).

Los aspectos antes mencionados han despertado el interés para la aplicación de los bivalvos en la biodepuración de material orgánico en efluentes provenientes de sistemas de producción acuícola en zonas costeras, utilizando manglares como sustrato (Sánchez Carrillo y Álvarez, 2008; Peña, 2009), así como también dispositivos artificiales en los que se introducen estos organismos y se controlan variables ambientales como la temperatura,

disponibilidad de luz, oxígeno, salinidad, tipo y velocidad de flujo; con lo cual se ha logrado mayor eficiencia en los procesos de remoción de materia orgánica, metales pesados (Das, Shamik y Jana, 2003; Perceval, Pinel-Alloul, Bonneris y Campbell, 2006; Jorge, Loro, Bianchini, Wood y Gillis, 2013), algunos hidrocarburos aromáticos polinucleares (Thompson, Budzinnski y Narbonne, 1999), bacterias, virus y microalgas (Cerco y Noel, 2010; Zaldívar, Marinov, Castro y Micheletti, 2011).

Debido a la importancia que han tenido los bivalvos en procesos de biodepuración acuática, el presente estudio tuvo como propósito evaluar el potencial de aplicación de *M. charruana* en sistemas no convencionales para el tratamiento de aguas residuales, provenientes del sector industrial de alimentos, lo cual resulta de gran relevancia para identificar y evaluar especies autóctonas de la región, con gran capacidad de aplicación en el campo de la biotecnología ambiental.

## METODOLOGÍA

### Fase de campo

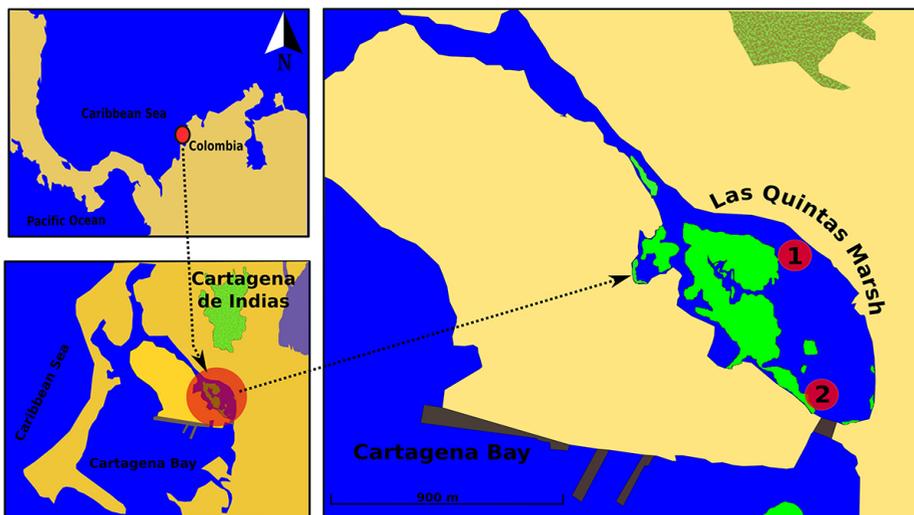
Los especímenes de *M. charruana*, utilizados en este proyecto, se obtuvieron manualmente siguiendo la metodología propuesta en la literatura (Quirós y Arias, 2013), a partir de las raíces de un parche de *Rhizophora mangle*, ubicado en la ciénaga de las Quintas (10°24'44,20" N; 75°31'35,93" W y 10°24'22,91" N; 75°31'31,98" W), en Cartagena, Colombia (Figura 1). Los especímenes se mantuvieron sumergidos en agua del medio en una canasta plástica, hasta su traslado al laboratorio.

De manera simultánea y con la ayuda de un analizador multiparámetro, se registró el valor de la conductividad eléctrica del agua ( $\mu\Omega/\text{cm}$ ), oxígeno disuelto (mg/L), salinidad y los sólidos totales disueltos (mg/L). El agua requerida para los ensayos de biodepuración en el laboratorio, se recogió en el medio, con ayuda de una electrobomba sumergible de 0,6 HP, con la cual se colectaron 576 L (Figura 2).

### Bioensayos: remoción de sólidos y materia orgánica con bivalvos bentónicos

Previo al inicio de los bioensayos, los organismos fueron aclimatados durante 72 horas, bajo condiciones similares a las del medio de origen: salinidad (25), temperatura (28 °C) y oxígeno disuelto (4 mg/L). Posteriormente, se realizaron bioensayos siguiendo un diseño

experimental bifactorial (Montgomery, 2004), teniendo como factores de variación, la salinidad del agua experimental, con dos tratamientos (alta: 25 y baja: 12.5), y la talla de los individuos de *M. charruana* (menor talla:  $\leq 2.5$  cm, y mayor talla:  $> 2.5$  cm). Se utilizó como control, tres acuarios con agua de salinidad igual a la del ecosistema de origen, libres de especímenes de *M. charruana*.



**Figura 1.** Ubicación de la ciénaga Las Quintas, en Cartagena de Indias. Los números 1 y 2 indican los puntos de muestreo de agua y especímenes de *M. charruana* respectivamente. Tomado y Modificado de Google Earth.



**Figura 2.** Toma de agua y captura de *M. charruana* en la Ciénaga de las Quintas, Cartagena.

Como variable de respuesta, se tuvo la tasa (%) de remoción en el agua de la DBO<sub>5</sub> y los sólidos volátiles totales (SVT). Para tal fin los especímenes se introdujeron en los acuarios (20 de mayor talla y 40 de menor talla), dentro

de bolsas construidas en multifilamento con ojo de malla de 500  $\mu$ m (Figura 3), a una densidad de 1.25 y 2.5 individuos/L de agua, según lo recomendado por la literatura (Ramos, Vinatea, y da Costa, 2008), como se describe en la Tabla 1.



**Figura 3.** Montaje experimental de los bioensayos para la remoción de la DBO<sub>5</sub> y los SVT.

**Tabla 1.** Diseño Bi-Factorial para la combinación de las variables salinidad y talla de *M. charruana*.

| Código  | Salinidad | Talla de los especímenes |
|---------|-----------|--------------------------|
| G-A     | Alta      | Mayor (> 2.5 cm)         |
| G-B     | Baja      | Mayor (> 2.5 cm)         |
| P-A     | Alta      | Menor (< 2.5 cm)         |
| P-B     | Baja      | Menor (< 2.5 cm)         |
| Control | Alta      | Sin organismos           |

El diseño del experimento siguió el modelo indicado en la ecuación 1:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{12}x_1x_2 + \varepsilon \quad (1)$$

Donde:

$y$  es la respuesta, las  $\beta$  son los parámetros del modelo,  $x_1$  es la variable que representa a la salinidad,  $x_2$  es el parámetro que representa el tamaño de los especímenes de *M. charruana*,  $x_1x_2$  es la interacción entre ambos factores (salinidad y tamaño de los especímenes) y  $\varepsilon$  es el error aleatorio.

Durante el experimento se tomaron muestras de 500 mL de agua en cada acuario, a intervalos de 24 horas durante un período de 48 horas. Posteriormente, en el laboratorio de la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (certificado bajo la norma Técnica Colombiana NTC-ISO/IEC 172005:2005), se

cuantificó para cada muestra, la DBO<sub>5</sub> (mg O<sub>2</sub>/L); mediante el método del electrodo-membrana (APHA, 2005a).

La tasa de reducción de la DBO<sub>5</sub> (TRDBO<sub>5</sub>) se calculó con la ecuación 2:

$$TRDBO_5 = \frac{DBO_{5i} - DBO_{5f}}{DBO_{5i} * 100} \quad (2)$$

Donde: DBO<sub>5i</sub> = demanda bioquímica de oxígeno 5, al inicio del experimento; DBO<sub>5f</sub> = demanda bioquímica de oxígeno 5, al final del experimento.

La medición de los SVT (mg/L), se realizó mediante el método gravimétrico, de acuerdo con la metodología propuesta por APHA (2005b) y WEF (2012). La tasa de reducción de estos, se calculó con la ecuación 3:

$$TRSVT = \frac{SVT_i - SVT_f}{SVT_i * 100} \quad (3)$$

Donde: TRSVT = Tasa de remoción de los sólidos volátiles totales; SVT<sub>i</sub> = contenido de sólidos al inicio; SVT<sub>f</sub> = Contenido de sólidos al final.

#### Procesamiento y análisis de los datos

Con la información obtenida de los bioensayos se calcularon los estadísticos descriptivos,

promedio aritmético y desviación estándar, y se realizó un análisis de varianza (ANOVA), a una vía para la combinación de tratamientos utilizados (salinidad del agua y talla de los especímenes). Previo al ANOVA se probaron los supuestos de normalidad, independencia y homocedasticidad de los datos (Montgomery, 2004). La totalidad de los análisis estadísticos se realizó con el programa computacional R 3.0.2.

### Diseño conceptual de sistema de tratamiento secundario de aguas residuales mediante el uso de la especie *Mytella charruana*

Luego de obtener los resultados de remoción de la DBO<sub>5</sub> y SVT, se realizó un diseño conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales, teniendo en cuenta las teorías convencionales sobre este tipo de tratamientos, utilizando organismos vivos como los bivalvos en una de sus etapas (Romero, 2008).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Reducción de la DBO<sub>5</sub> y los sólidos volátiles totales

Durante el desarrollo de los bioensayos, se mantuvieron condiciones similares de las variables fisicoquímicas en todos los acuarios; el promedio del oxígeno disuelto en el agua, el pH y la temperatura se muestran en la Tabla 2.

En lo que respecta a la reducción de la DBO<sub>5</sub>, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (*p*-valor > 0.5, Tabla 3), sin embargo, al analizar el comportamiento del promedio, se observó que el tratamiento de los individuos con menor talla mantenidos en alta salinidad del agua, redujeron en más de 45 % la DBO<sub>5</sub>. La menor reducción de esta variable ( $23.78 \pm 16.37$  %), se presentó en el tratamiento que tenía los especímenes de menor talla y baja salinidad del agua; sin embargo, la DBO<sub>5</sub> no fue afectada significativamente en ninguno de los tratamientos donde se utilizaron los especímenes de mayor talla (Figura 4).

**Tabla 2.** Promedio de las variables fisicoquímicas durante los ensayos.

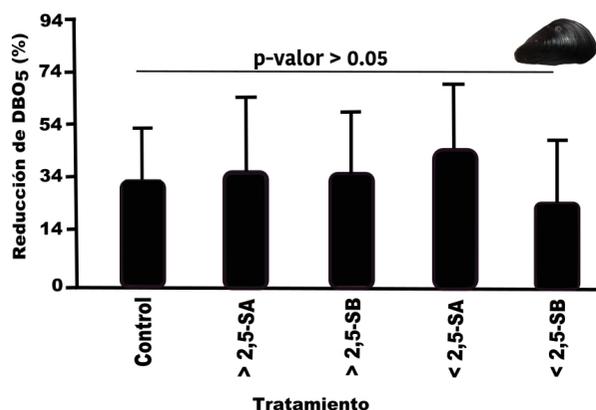
| Variable                | Promedio | Desviación estándar |
|-------------------------|----------|---------------------|
| Oxígeno disuelto (mg/L) | 4.80     | 0.07                |
| pH                      | 8.45     | 0.05                |
| Temperatura (°C)        | 27.44    | 0.09                |

**Tabla 3.** ANOVA para la reducción de la DBO<sub>5</sub>, en los dos tratamientos y el control.

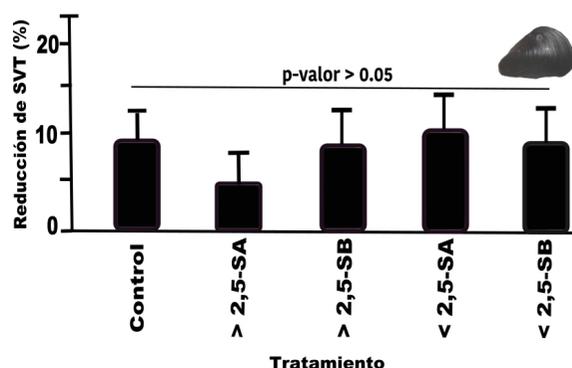
| Fuente        | Suma de cuadrados | GI | Cuadrado medio | F    | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|------|---------|
| Entre grupos  | 695.381           | 4  | 173.845        | 0.39 | 0.8122  |
| Intra grupos  | 4031.83           | 9  | 447.981        |      |         |
| Total (Corr.) | 4727.21           | 13 |                |      |         |

Los sólidos volátiles totales tampoco mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (*p*-valor > 0.05) Tabla 4); sin embargo, se observó que los organismos de menor talla, sometidos a alta salinidad, fueron los

que presentaron mayor reducción de SVT ( $10.64 \pm 6.27$  %); contrario al comportamiento de los organismos de mayor talla en las mismas condiciones de salinidad (Figura 5), cuya tasa de reducción promedio, fue de  $3.23 \pm 0.23$  %.



**Figura 4.** Comparación del promedio de reducción (%) de la DBO<sub>5</sub>, en cada tratamiento, incluido el control. < 2.5: individuos con talla menor a 2.5 cm; >2.5: individuos con talla mayor a 2.5 cm; SA: Salinidad alta; Sb: Salinidad baja.



**Figura 5.** Comparación del promedio de reducción (%) de los sólidos volátiles totales (SVT) en cada tratamiento, incluido el control. < 2.5: individuos con talla menor a 2.5 cm; >2.5: individuos con talla mayor a 2.5 cm; SA: Salinidad alta; Sb: Salinidad baja.

**Tabla 4.** ANOVA para la reducción de los SVT, en los tratamientos y el control.

| Fuente        | Suma de cuadrados | Gl | Cuadrado medio | F    | P-Valor |
|---------------|-------------------|----|----------------|------|---------|
| Entre grupos  | 90.5763           | 4  | 22.6441        | 0.71 | 0.06043 |
| Intra grupos  | 286.357           | 9  | 31.8175        |      |         |
| Total (Corr.) | 346.934           | 13 |                |      |         |

Debido a que *M. charruana* demostró ser una especie con capacidad de remoción de material orgánico presente en el agua, a tasas que oscilan entre 23.78 % y 45.49 %, podría contemplarse su uso en sistemas de biodepuración de aguas residuales, procedentes de la industria dedicada a la producción de alimentos o de compuestos orgánicos (Giffort *et al.*, 2006), tales como las camaroneras, piscifactorías, y empresas productoras de fertilizantes orgánicos, debido a que con ellos se podría remover gran parte del material orgánico que estas pueden llegar a verter a los ecosistemas circunvecinos (Dumbauld, Ruesink, y Rumrill, 2009; Thevenon, *et al.*, 2011; Gutierrez-Wing y Malone, 2006).

Así, teniendo en cuenta los resultados, se sugiere el uso de organismos de tallas menores ( $\leq 2,5$  cm), para acelerar el proceso de remoción. Esta situación obedece a que los

bivalvos juveniles poseen un metabolismo mucho más acelerado que los adultos (Bradley, 2009). Además, se pueden obtener mejores resultados de biodepuración, si se utilizan organismos de talla inferior a los 2.5 cm, manteniendo una salinidad en el agua, igual o superior a 25; ya que la reducción de la salinidad en el medio, genera en los especímenes mayor gasto energético, para mantener los procesos de osmoregulación (Shpigel, Avital y Jönsson, 2013).

A partir del análisis de los valores de reducción de la DBO<sub>5</sub> y de los SVT, obtenidos en esta investigación, se establecieron los parámetros iniciales para formular el diseño conceptual de dos dispositivos que pueden emplearse para el tratamiento de aguas residuales procedentes de industrias dedicadas al procesamiento de alimentos, que posean problemas por el vertimiento de materia orgánica a los cuerpos de agua.

**Diseño conceptual del sistema de tratamiento secundario de aguas residuales mediante el uso de la especie *Mytella charruana***

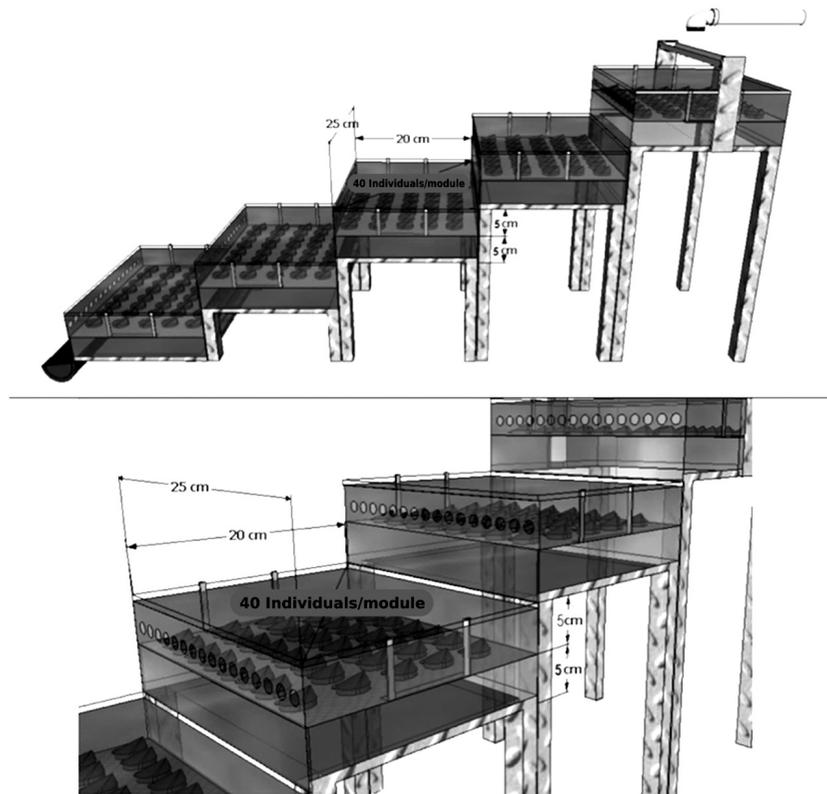
A partir de los resultados relacionados con el comportamiento de la especie *M. charruana*, respecto a la reducción de la DBO<sub>5</sub> y de los SVT, se diseñaron conceptualmente, dos dispositivos que se proponen como nuevas alternativas para el tratamiento secundario de aguas residuales.

**Diseño de sistemas con flujo horizontal y vertical.** Estos sistemas tienen como propósito la remoción de carga orgánica y sólidos volátiles suspendidos en la masa de agua, mediante el uso de cinco módulos de tratamiento tipo

acuarios, de geometría rectangular, donde se estima que la totalidad de los módulos contribuirá con la remoción de entre 65 y 85 % de la DBO<sub>5</sub> y los SVT. Estos diseños garantizarán el flujo continuo del agua desde un módulo a otro, complementándose con el principio del flujo en cascada, para asegurar la aireación y la distribución homogénea del agua a través de un regulador de caudal, en cada uno de estos. En las figuras 6 y 7, se muestran las características técnicas del diseño de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, haciendo uso del bivalvo *M. charruana*, el cual se puede disponer en módulos como el de la Figura 8. La descripción de los componentes de ambos sistemas se resume en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Descripción de los componentes del diseño conceptual de los sistemas de tratamiento de aguas residuales usando *M. charruana*. \* No Aplica (NA).

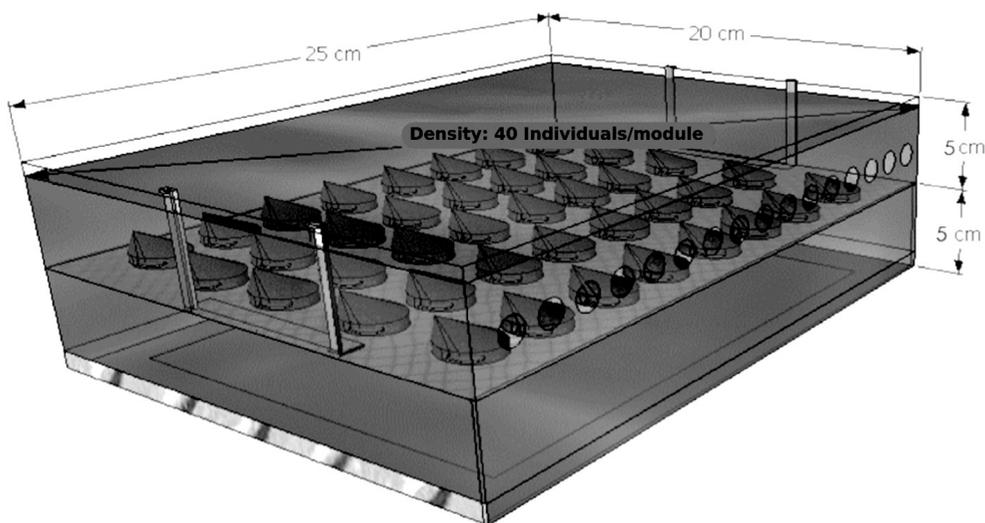
| Parámetro                 | Valor/Unidades   | Propuesta estructural   |
|---------------------------|--|---|
| Caudal de diseño          | 0,53 L/hora  | NA  |
| Tiempo de residencia      | 15 horas   | NA  |
| Módulos de tratamiento    | 5 módulos  | Vidrio templado, concreto simple sólido y/o plástico                  |
| Volumen del módulo        | 8 L/módulo   | NA  |
| Geometría del módulo      | Base: 20 cm  | NA  |
|                           | Longitud: 25 cm  |   |
|                           | Altura: 10 cm  |   |
| Malla                     | 1 ó 2 por módulo   | Fibra de vidrio de baja densidad, mallas de plástico o fibra de tela. |
|                           | (Varía de acuerdo a la eficiencia que se quiera garantizar)                    | Soportes metálicos en aluminio o plástico                             |
| Regulador de caudal       | 1 Regulador tipo canaleta  | Tubo PVC (Cloruro de polivinilo), cromo, aluminio o acero inoxidable  |
|                           | 4 Reguladores adaptados al módulo de vidrio, con orificios de 1 cm de diámetro | Incrustados en los orificios del módulo de vidrio                     |
| Organismos de tratamiento | 40 individuos/módulo<br>Aumento de eficiencia con 80 individuos/módulo         | NA*   |
| Vertimiento final         | 1 Canal  | Concreto simple, Cloruro de polivinilo                                |



**Figura 6.** Diseño conceptual para el sistema de tratamiento de flujo horizontal usando bivalvos.



**Figura 7.** Diseño conceptual para el sistema de tratamiento de flujo vertical, con uso de bivalvos.



**Figura 8.** Módulo diseñado para la ubicación de los especímenes en los sistemas de tratamiento de agua.

### **Comparación de los sistemas de flujo horizontal y vertical**

La implementación de los dispositivos propuestos depende, en gran medida, de la disponibilidad y aprovechamiento de espacio que demanda cada uno. El sistema que opera de forma horizontal, requiere más espacio, sin embargo, posee menor altura, con lo cual se reduciría el uso de sistemas de bombeo. Por otro lado, el diseño vertical, al tener mayor altura, requeriría de un sistema de bombeo para impulsar el agua hacia el módulo superior; sin embargo, este último sistema cuenta con un mecanismo adaptable a cualquier espacio abierto o cerrado.

El diseño conceptual de los sistemas de tratamiento de aguas residuales propuestos en esta investigación, presenta características similares entre estos, como el caudal de diseño o caudal de flujo a tratar, derivado del volumen de agua proveniente de los módulos de tratamiento, de lo cual depende el tiempo de residencia del agua y el contacto con los especímenes *M. charruana*. Este último aspecto es uno de los parámetros críticos en el diseño de los sistemas de tratamiento biológico de aguas, debido a que las alteraciones de este parámetro, pueden afectar significativamente la eficiencia de remoción de la materia orgánica y los sólidos volátiles.

Cada sistema de tratamiento constaría de varias unidades, semejantes a los módulos tipo acuario utilizados en los bioensayos en esta investigación, de tipo rectangular y con un volumen adaptable a las necesidades específicas del tratamiento requerido; así mismo, cada módulo de tratamiento estaría equipado con una malla para la adhesión de los especímenes, sostenida mediante soportes metálicos a los extremos del módulo, para facilitar la limpieza y reemplazo de los organismos. Además, se incluye en el diseño, un regulador de caudal (por módulo), que garantiza el flujo continuo del efluente que proviene del pretratamiento y que luego será filtrado por los especímenes. Por último, en la estructura de vertimiento final se haría el monitoreo y control de los parámetros  $DBO_5$  y SVT, en el efluente final.

Algunos reactores artificiales ya se han propuesto para evaluar la capacidad biodepuradora de especies de bivalvos como *Tapes philippinerum*, y *Crassostrea gigas*; la primera permite reducir entre 57 y 97 % la concentración de clorofila presente en el agua, y entre 64 y 97 % la turbidez; mientras que la segunda especie, puede reducir entre 69 y 93 % la clorofila, y entre 75 y 91 % la turbidez. Para la remoción de la  $DBO_5$ , procedente del cultivo del camarón blanco, *Litopaneaus vannamei*, se ha utilizado la especie *Crassostrea rhizophorae*, dispuesta en tanques de

50 L, donde logra una tasa máxima de remoción de 17.2 % de la DBO<sub>5</sub> (Ramos, Vinatea, y da Costa, 2008). Al comparar estos resultados con los encontrados para *M. charruana*, se puede inferir que la especie presenta una mayor tasa de remoción de la DBO<sub>5</sub>, por lo cual podría sugerirse su implementación en procesos de biofiltración de aguas residuales, mediante el uso de dispositivos artificiales como los reactores propuestos en la presente investigación.

Además, *M. charruana*, satisface muchos de los criterios establecidos para la selección de organismos con alta capacidad de aplicación en procesos de biodepuración, tales como su alta tasa de crecimiento, sedentarismo relativo, alta capacidad de filtración y amplio rango de resistencia a los cambios de salinidad (Giffor, et al., 2006).

Como alternativa de manejo de los organismos que hayan cumplido su ciclo en el proceso de biodepuración, algunos autores sugieren evaluar su uso potencial como abonos orgánicos de aplicación directa en cultivos agroecológicos debido a la doble función que pueden cumplir, como fuente de nutrientes y regulador del pH del suelo, a partir del aporte de carbonatos almacenados en sus valvas; sin embargo, previo a esta aplicación, se debe tener seguridad de que estos organismos contengan una baja concentración de contaminantes críticos como los metales pesados e hidrocarburos aromáticos polinucleares, entre otros (Spångberg, Tidåker y Jönsson, 2013).

## CONCLUSIONES

Se concluye que la especie *M. charruana*, posee un alto potencial de aplicación en procesos de biodepuración de aguas residuales ricas en materia orgánica y sólidos volátiles totales, alcanzando una mayor eficiencia cuando se utilizan organismos con talla menor a 2.5 cm, y salinidad del agua superior a 25.

Además, la eficiencia de aplicación de la especie se puede mejorar, a partir de la implementación de dispositivos de flujo horizontal o vertical, que ayuden a ahorrar espacio y operatividad, construidos de materiales convencionales de bajo costo y fáciles de usar.

Es necesario implementar estudios orientados hacia la optimización de la biodepuración por parte de la especie, de los contaminantes evaluados y otros elementos químicos de interés ambiental, con el objeto de ampliar el espectro de aplicación de esta, en el campo de la biotecnología ambiental.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, el apoyo económico brindado para el desarrollo del proyecto, así como al Grupo de Investigaciones Ambientales GIA, y a los estudiantes Manuel Camargo, Robinson Herrera y Renzo Gómez, por el apoyo brindado durante la fase de campo.

## REFERENCIAS

- APHA. (2005a). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 5-Day BOD Test 5210 B - Membrane Electrode, Method 4500- O G. 1200 pp.
- APHA. (2005b). Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. Total, Fixed, and Volatile Solids in Solid and Semi-solid Samples, Method 2540-G-97. 1200 pp.
- Binelli, A., Magni, S., Soave, C., Marazzi, F., Zucato, E., Castiglioni, S. y Mezzanotte, V. (2014). The biofiltration process by the bivalve *D. polymorpha* for the removal of some pharmaceuticals and drugs of abuse from civil wastewaters. Ecological Engineering, 710-721.
- Bradley, T. (2009). Animal Osmoregulation. Oxford Animal Biology Series. 168 pp.
- Cerco, F. y Noel, M. (2010). Monitoring, modeling, and management impacts of bivalve filter feeders in the oligohaline and tidal fresh regions of the Chesapeake Bay System. Ecological Modelling, 1054-1064.
- Das Shamik, B. y Jana, B. (2003). In situ cadmium reclamation by freshwater bivalve *Lamellidens marginalis* from an industrial pollutant-fed river channel. Chemosphere, 161-173.

- Dumbauld, B., Ruesink, J. y Rumrill, S. (2009). The ecological role of bivalve shellfish aquaculture in the estuarine environment: A review with application to oyster and clam culture in West Coast (USA) estuaries. *Aquaculture*, 196-223.
- Giffort, S., Dunstan, R., O'Connor, W., Koller, C. y MacFarlane, G. (2006). Aquatic zooremediation: deploying animals to remediate contaminated aquatic environments. *Trends in Biotechnology*, 60-65.
- Gutierrez-Wing, M. y Malone, R. (2006). Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications. *Aqua cultural Eng*, 163-171.
- Jorge, M., Loro, V., Bianchini, A., Wood, C. y Gillis, P. (2013). Mortality, bioaccumulation and physiological responses in juvenile freshwater mussels (*Lampsilis siliquoidea*) chronically exposed to copper. *Aquatic Toxicology*, 137-147.
- Lafont, F., Pessel, N. y Gauthier, J. (2014). Unknown-input observability with an application to prognostics for Waste Water Treatment Plants. *European Journal of Control*, 95-103.
- Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos. *Limusa Wiley*, 686 pp.
- Pascualino, J., Meneses, M., Abella, M. y Castells, F. (2009). LCA as a Decision Support Tool for the Environmental Improvement of the Operation of a Municipal Wastewater Treatment Plant. *Environmental Science y Technology*, 3300-3307.
- Puyana, M., Prato, J., y Díaz, J. (2012). *Mytella charruana* (D'Orbigny) (Mollusca: Bivalvia: Mytilidae) en la bahía de Cartagena, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 213-217.
- Peña, E. (2009). El cultivo de camarón y la calidad ambiental: ¿Cómo disminuir sus efectos nocivos en las costas de Nayarit? *Revista Fuente*, 13-17.
- Perceval, O., Pinel-Alloul, B., Bonneris, E. y Campbell, P. (2006). Long-term trends in accumulated metals (Cd, Cu and Zn) and metallothionein in bivalves from lakes within a smelter-impacted region. *Sci. of the Total Environment*, 403-418.
- Quirós, J., y Arias, J. (2013). Taxocenosis de moluscos y crustáceos en raíces de *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) en la bahía de Cispatá, Córdoba, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 329-340.
- Romero, J. (2008). Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. *Escuela Colombiana de Ingeniería*. 1232 pp.
- Ramos, R., Vinatea, L., y da Costa, R. (2008). Tratamiento de efluentes de cultivos de *Litopenaeus vannamei* por sedimentación y filtración por la ostra *Crassostrea rhizophorae*. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 235-244.
- Sanchez Carrillo, S., y Álvarez Yépez, J. (2008). Viabilidad de los manglares artificiales como sistema de tratamiento de los efluentes camaronícolas en Latinoamérica. *Latinoamericana de Recursos Naturales*, 17-30.
- Shpigel, M., Avital, G. y Eitan, K. (1997). A biomechanical filter for treating fish pond effluents. *Aquaculture*, 103-117.
- Spångberg, J., Tidåker, P. y Jönsson, H. (2013). Bringing nutrients from sea to land mussels as fertilizer from a life cycle perspective. *J. of Cleaner Prod.*, 234-244
- Tirado, O., Manjarrez, G., y Díaz, C. (2010). Caracterización ambiental de la ciénaga de las Quintas localizada en Cartagena de indias, Colombia. *U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 131-139.
- Thompson, S., Budzinski, H. y Narbonne, J. (1999). Comparison of PCB and DDT Distribution between Water-column and Sediment-dwelling Bivalves in Arcachon Bay, France. *Marine Pollution Bulletin*, 655-662.
- Thevenon, F., Graham, N., Herbez, A., Wildi, W. y Poté, J. (2011). Spatio temporal distribution of organic and inorganic pollutants from Lake Geneva (Switzerland) reveals strong interac-

ting effects of sewage treatment plant and eutrophication on microbial abundance. *Chemosphere*, 609-617.

WEF (Water Environment Federation). (2012). *Basic Laboratory Procedures for the Operator-Analyst*, 5th ed. USA. 432p.

Yidi, E. y Sarmiento, V. (2011). *Colombian Seashells from the Caribbean Sea*. Ancona, 384 pp.

Zaldívar, J., Marinov, D., Castro Jiménez, J. y Micheletti, C. (2011). Worth, A.P an integrated approach for bioaccumulation assessment in mussels: Towards the development of Environmental Quality Standards for biota. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 244-252.