

MUESTREADOR PASIVO

CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se relaciona con dispositivos para muestreo pasivo en cuerpos de agua, considerando cuerpos de aguas lenticos tales como lagos, lagunas, esteros, etc. Particularmente, el presente invento se relaciona con dispositivos para muestrear la concentración de contaminantes en medios lenticos, como, por ejemplo: metales contaminantes tales como, mercurio, hierro y magnesio en ambientes lenticos.

DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE LA TÉCNICA

El muestreo pasivo presenta un enfoque para el control y vigilancia de contaminantes ambientales aún en concentración traza. El muestreo pasivo provee importantes ventajas ante otros métodos de muestreo, por ejemplo: muestro puntual, tejido de organismos bioacumuladores, por ejemplo, la determinación de la concentración promedio del contaminante durante el tiempo de despliegue, la preconcentración de la muestra para aumentar la sensibilidad de la medición y proteger la muestra durante el transporte y almacenamiento.

En el contexto de la presente invención, se entenderá por “analito” el componente, elemento, compuesto o ión, de interés analítico; por “fase aceptora” como un elemento con una gran afinidad por los analitos de interés, que mantiene una concentración de contaminante cercana a cero en su superficie y puede ser un solvente, un reactivo químico, una resina de polímero o un material adsorbente poroso; la “velocidad de muestreo” es la velocidad en la transferencia de masa; y el “vórtice” o “vórtices” como una región en un fluido en donde el flujo rota alrededor de una línea de eje. La línea de eje puede ser recta o curva.

El funcionamiento de los muestreadores pasivos se basa en la transferencia de masa de los analitos desde el medio acuático a una fase aceptora. La única fuente de energía durante este proceso es la diferencia de potenciales químicos del analito entre el medio y el muestreador pasivo. Específicamente, el proceso de captación en cuerpos de agua con flujo lentico supone un desafío, debido a que el movimiento lento del fluido propicia una pobre interacción entre los analitos de interés y la fase aceptora.

La cinética de intercambio entre la membrana y el medio acuático se describe mediante la siguiente ecuación de primer orden:

$$C_S(t) = C_W \frac{k_1}{k_2} (1 - e^{-k_2 t})$$

Donde $C_s(t)$ es la concentración de analito en el tiempo de exposición t , C_w es la concentración de analito en el medio acuático. k_1 y k_2 son las constantes de captación y descarga, respectivamente.

- 5 Los muestreadores pasivos funcionan en dos regímenes, el régimen cinético que comprende el área debajo de la curva, entre los puntos (21) y (22) de la FIG. 13 y el régimen en el equilibrio que corresponde al área bajo la curva desde el punto (22) de la FIG. 13 hasta el infinito.
- 10 Para un muestreador pasivo en régimen en equilibrio, el tiempo es suficiente para permitir el establecimiento del equilibrio termodinámico entre el medio y la fase aceptora, pero al ser tan prolongado este periodo, se corre el riesgo de colonización, degradación y vandalismo sobre el dispositivo (Fernández-Gómez, C., Bayona, J. M., & Díez, S. (2012). Laboratory and field evaluation of diffusive gradient in thin films (DGT) for monitoring
- 15 levels of dissolved mercury in natural river water. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 92(15), 1689-1698; Mayer, P., Tolls, J., Hermens, J. L., & Mackay, D. (2003). Peer Reviewed: Equilibrium Sampling Devices. *Environmental science & technology*, 37(9), 184A-191A). La cinética de intercambio entre la membrana y el medio acuático para los muestreadores en equilibrio se describe mediante la siguiente ecuación:

20

$$C_s(t) = C_w \frac{k_1}{k_2} = C_w K$$

- donde K es el coeficiente de partición entre la fase aceptora y el medio. El muestreador pasivo en régimen cinético, el tiempo de exposición es más corto que en el muestreador en equilibrio, y por tanto no se alcanza el equilibrio termodinámico. En el régimen cinético la
- 25 constante de descarga k_2 es despreciable, por lo que se describe por la siguiente ecuación:

$$C_s(t) = C_w k_1 t$$

La ecuación anterior también se describe de la siguiente manera:

30

$$m_s(t) = C_w R_s t$$

- donde $m_s(t)$ es la masa de analito en la fase aceptora después de un tiempo de exposición (t) y R_s es la constante de proporcionalidad. La constante de proporcionalidad es producto de la constante de captación k_1 y el volumen de agua que da la misma actividad química que la fase aceptora. R_s se interpreta como el volumen de agua clarificado de analito por
- 35 unidad de tiempo de exposición del muestreador pasivo (mL/h o L/d).

El C_w , se describe como el promedio ponderado de la concentración de analito en el tiempo, y se calcula conociendo el valor de (R_s), el tiempo de exposición (t) y la cantidad de analito capturada por la fase aceptora $m_s(t)$.

- 5 La velocidad de muestreo R_s no varía con la concentración de analito en el agua, pero sí lo hace con variaciones en la turbulencia del agua, la temperatura del agua y la colonización biológica sobre la membrana de difusión (Mills, G. A., Aguilar-Martínez, R., Greenwood, R., Allan, I. J., Brümmer, J., Knutsson, J., & Vrana, B. (2010). Developments in the Use of Passive Sampling Devices for Monitoring Pollutants in Water *Handbook of Sample*
10 *Preparation* (pp. 341-363): John Wiley & Sons, Inc).

La capa limite difusiva se define como la región cercana a la superficie sólida con una concentración del analito menor al 90% de la concentración en el agua circundante. El espesor de la capa límite difusiva es único para cada molécula (Levich, V. G., & Technica,
15 S. (1962). *Physicochemical hydrodynamics* (Vol. 689): Prentice-hall Englewood Cliffs, NJ.). La velocidad de muestreo es función espesor de la capa límite difusiva.

La capa limite o capa limite hidrodinámica es definida como la zona donde las velocidades del agua son menores al 99% de la velocidad del flujo principal (Lobban, C. S., &
20 Harrison, P. J. (1994). *Seaweed Ecology and Physiology*: Cambridge University Press.).

La capa límite hidrodinámica es laminar o turbulenta en función del factor de forma del solido expuesto al flujo, la velocidad de la corriente y los obstáculos de flujo encontrados en el recorrido, entre otros. La capa límite difusiva tiene menor altura cuando la capa límite
25 hidrodinámica es turbulenta que cuando es laminar.

La altura de la capa limite difusiva es inversamente proporcional a la velocidad de muestreo, y la velocidad del agua es inversamente proporcional a la altura de la capa limite. La capa límite difusiva se encuentra en el fondo de la capa límite hidrodinámica. La capa
30 limite hidrodinámica también es llamada capa límite de velocidad, que es una capa donde la velocidad del agua es menor a la velocidad del flujo en la corriente (v.gr. ríos).

En procesos de transferencia de masa similares a los de los muestreadores pasivos, como es el caso de las algas pardas, la generación de una capa límite hidrodinámica turbulenta
35 disminuye en mayor proporción el espesor de la capa límite difusiva en comparación con una capa límite hidrodinámica laminar (Wheeler, W. (1980). Effect of boundary layer transport on the fixation of carbon by the giant kelp *Macrocystis pyrifera*. *Marine Biology*, 56(2), 103-110).

40 Durante el despliegue de muestreadores pasivos en campo, no todos los analitos se encuentran en la región de equilibrio con los muestreadores (Kot-Wasik, A., Zabiegała, B.,

Urbanowicz, M., Dominiak, E., Wasik, A., & Namieśnik, J. (2007). Advances in passive sampling in environmental studies. *Analytica Chimica Acta*, 602(2), 141-163.).

El estado de la técnica divulga dispositivos para el muestreo pasivo de sustancias y
5 contaminantes en cuerpos de agua como el divulgado por el artículo “*Comparing the Passive and Active Sampling Devices with Biomonitoring of Pollutants in Langstone and Portsmouth Harbour, UK journal of environmental science and technology 3(1): 1-17, 2010*”. El documento presentado en el artículo divulga un muestreador pasivo de cuerpos de agua que comprende un cuerpo de PTFE en forma de disco que sirve para soportar las
10 membranas, un anillo de sujeción de la membrana que aprisiona la membrana al disco y una tapa para el transporte al lugar de despliegue.

El muestreador presentado en el artículo “*Comparing the Passive and Active Sampling Devices with Biomonitoring of Pollutants in Langstone and Portsmouth Harbour, UK*”
15 muestrea diferentes tipos de contaminantes en cuerpos de agua tales como, mercurio, hierro y magnesio, pero es muy lento muestreando ecosistemas lenticos, permitiendo que el dispositivo no pueda captar suficiente cantidad de analito si la velocidad del agua y la concentración son muy bajas.

20 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN**

La siguiente invención corresponde a un dispositivo de muestreo pasivo en cuerpos de agua. El dispositivo comprende un soporte de membrana, una membrana, un elemento que asegura la membrana al soporte de membrana y un obstáculo en la base, que genera flujo
25 turbulento en la medida que un fluido pasa por éste, sobre la superficie de la base en la que se encuentra la membrana. El soporte de membrana comprende una forma hidrodinámica, para permitir que la capa límite hidrodinámica se mantenga adherida a la superficie del dispositivo.

30 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

La FIG. 1 corresponde a una modalidad de la invención, y comprende una membrana (1), un soporte de membrana (2), un anillo (3) que asegura una membrana (1) a la soporte de membrana (2), un obstáculo de flujo (4) y una arista curva (6) sobre la soporte de
35 membrana (2).

La FIG. 2 corresponde a un anillo (3) en sus vistas superior e inferior.

La FIG. 3 corresponde a la vista explosionada de la FIG. 1.

40

La FIG. 4 corresponde a un disco (5) con una superficie circular que sobresale en el centro una de las superficies planas.

La FIG. 5 corresponde a una modalidad de la invención, donde el soporte de membrana (2), posee un agujero (19).

- 5 La FIG. 6 corresponde al plano explosionado de una modalidad de la invención que presenta, un soporte de membrana (2), un disco (5), que se ensambla en un agujero (19) al soporte de membrana (2), una membrana (1), un anillo (3) y un obstáculo de flujo (4).

- La FIG. 7 corresponde a una modalidad del dispositivo, que muestra como las líneas de
10 flujo pasan por el obstáculo de flujo (4) cambiando su forma.

La FIG. 8 corresponde a una vista en perspectiva de los obstáculos de flujo (4).

- La FIG. 9 corresponde a una vista en perspectiva de los obstáculos de flujo (4).
15

La FIG. 10 corresponde a un carrusel (12), que está compuesto por una barra (13) y un brazo (14).

- La FIG. 11 presenta un carrusel (12) con varios dispositivos ensamblados a los brazos (14).
20

La FIG. 12 corresponde a una gráfica donde muestra las líneas de corriente de un flujo laminar y turbulento.

- La FIG. 13 representa una gráfica donde una línea empieza desde cero con una pendiente
25 positiva, luego estabilizándose la curva de manera horizontal.

La FIG. 14 representa una modalidad de la invención donde los obstáculos de flujo son triángulos con caras paralelas.

- 30 La FIG. 15 representa una modalidad de la invención donde los obstáculos de flujo son triángulos cuyas caras tienen forma en V.

RESUMEN

- 35 La presente invención corresponde a un dispositivo de muestreo pasivo de sustancias en ambientes lenticos y loticos. El dispositivo comprende un soporte de membrana, una membrana, un elemento que asegura la membrana al soporte de membrana y un obstáculo en la base, que genera flujo turbulento en la medida que un fluido pasa por éste, sobre la
40 superficie de la base en la que se encuentra la membrana. El soporte de membrana comprende una forma hidrodinámica, para permitir que la capa límite hidrodinámica se mantenga adherida a la superficie del dispositivo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

- La presente invención corresponde a un dispositivo para la toma de muestras en fluidos que comprende: una membrana (1), un soporte de membrana (2), un elemento de sujeción (3) que sujeta la membrana (1) al soporte de membrana (2), un obstáculo (4) de flujo adyacente a la membrana (1), dispuesto en el soporte de membrana (2), donde el obstáculo de flujo (4) produce flujo turbulento sobre la membrana (1).
- Una de las funciones de la membrana (1) es capturar desde el medio acuoso el analito en donde es ubicado el dispositivo. En la mayoría de los casos, son compuestos que están disueltos en el agua y que son biodisponibles los que son capturados por la membrana (1). Mientras que los compuestos ligados a la materia orgánica suspendida o al carbono orgánico disuelto, generalmente no son acumulados en la membrana.
- En una modalidad de la invención, el soporte de membrana (2) tienen una forma que se selecciona del grupo conformado por: pirámides, cubos, prismas, esferas, cilindros, ortoedros, y combinación de los mismos.
- Una de las funciones de las diferentes modalidades de forma del soporte de membrana (2) es cambiar la capa límite cuando el dispositivo es sumergido en un fluido. Las diferentes formas del soporte de membrana (2) y el elemento de sujeción (3) aumentan o disminuyen la velocidad de muestreo y permiten mejorar la captura del analito.
- Haciendo referencia a la FIG. 1, se presenta una modalidad de la invención, que comprende: una membrana (1), un soporte de membrana (2), un elemento de sujeción (3) que asegura una membrana (1) al soporte de membrana (2), un obstáculo de flujo (4) y una arista (6) curva sobre el soporte de membrana (2).
- El soporte de membrana (2) posee una forma prismática rectangular, en donde las aristas (6) contiguas al obstáculo de flujo (4) tienen una forma curva, que permiten un perfil hidrodinámico sobre la superficie del dispositivo. Dicho perfil hidrodinámico permite que la capa límite se mantenga adherida a la superficie del dispositivo.
- En dicha modalidad de la invención, el elemento de sujeción (3) tiene forma de anillo, como se referencia en la FIG. 2. El soporte de membrana (2) tiene un disco (5) en una de sus caras, en donde se conecta el elemento de sujeción (3). El elemento de sujeción (3) y el disco (5) del soporte de membrana (2) se conectan mediante roscado.
- Una de las funciones de una conexión mediante roscado u otro medio de sujeción del elemento de sujeción (3) y el disco (5), o el soporte de membrana (2) y el elemento de sujeción (3), es permitir que la membrana (1) no se separe del dispositivo.

Haciendo referencia a la FIG. 3, se muestra el dispositivo en explosión de la modalidad referenciado en la FIG. 1.

- 5 En una modalidad de la invención, el soporte de membrana (2) y el elemento de sujeción (3) se conectan mediante ajuste a presión, roscado, o mediante elementos de sujeción seleccionados del grupo conformados por: adhesivos, tornillos, clavos, pines, remaches y combinación de los mismos.
- 10 Haciendo referencia a la FIG. 6, se presenta una modalidad de la invención en explosión, que comprende: una membrana (1), un soporte de membrana (2), un elemento de sujeción (3) con forma de anillo, un disco (5) y un obstáculo de flujo (4). El soporte de membrana posee un recinto anular en una de sus caras, en donde va ensamblado el disco (5).
- 15 El soporte de membrana (2) posee una forma prismática rectangular, en donde las aristas contiguas al obstáculo de flujo (4) poseen una forma a curva. Una de las funciones de las aristas curvas, es generar un perfil hidrodinámico sobre el dispositivo. El perfil hidrodinámico permite que la capa limite se mantenga adherida a la superficie del dispositivo.
- 20 La membrana (1) se ubica entre el disco (5) y el elemento de sujeción (3). El diámetro exterior del disco (5) es menor que el diámetro interno del elemento de sujeción (3), lo que permite que se estos elementos se ensamblen por presión y mantengan la membrana (1) fija al dispositivo.
- 25 Una de las funciones del disco (5) como elemento externo al soporte de membrana es permitir el recambio de membrana (1) del dispositivo con mayor comodidad para el usuario.
- 30 Haciendo referencia a la FIG. 4 se muestran las vistas superior e inferior del anillo (5). El anillo tiene un elemento de acople (25) con forma de cilindro que sale de una de las caras del disco (5). Dicho elemento de acople (25) se conecta en el agujero de acople (19) ubicado en una cara del soporte de membrana (6) referenciado en la FIG. 5.
- 35 En una modalidad de la invención, el soporte de membrana (2) y el disco (5) se conectan mediante ajuste a presión, roscado, o mediante elementos de sujeción seleccionados del grupo conformados por: adhesivos, tornillos, clavos, pines, remaches y combinación de los mismos.
- 40 Haciendo referencia a la FIG. 8, se presenta una modalidad de la invención, en donde el obstáculo de flujo (4) comprende: un primer prisma triangular (7) y un segundo prisma triangular (8). Cada prisma tiene una cara inferior (9) dispuesta sobre la superficie del

soporte de membrana (2), cada prisma tiene un lado (10) unido a la cara inferior por medio de una arista (11). Las aristas de unión entre los lados (10) y las caras inferiores del primer prisma (7) y del segundo prisma (8) conforman un ángulo (α) entre 0 y 180°.

- 5 En otra modalidad de la invención, las aristas de unión entre los lados (10) y las caras inferiores del primer prisma (7) y del segundo prisma (8) de los obstáculos de flujo, son paralelas

Haciendo referencia a la FIG. 14 se presenta una modalidad de la invención donde, las aristas de unión entre los lados (10) y las caras inferiores del primer prisma (7) y del segundo prisma (8) de los obstáculos de flujo son paralelas.

Haciendo referencia a la FIG. 15 se presenta una modalidad de la invención donde, las aristas de unión entre los lados (10) y las caras inferiores del primer prisma (7) y del segundo prisma (8) de los obstáculos de flujo, conforman un ángulo (α) entre 0 y 180°.

Una de las funciones de los obstáculos de flujo (4), es volver la capa límite laminar en una capa límite turbulenta, es decir, energizar la capa límite. Otra de las funciones de los obstáculos de flujo (4) en el dispositivo, es generar vórtices sobre la membrana (1) cuando el fluido pasa por estos.

Haciendo referencia a la FIG. 12 se presenta una gráfica, en donde se muestra el cambio de las líneas de corriente en la capa límite. El eje Y (15) corresponde la altura de la capa límite, y sobre el eje X se muestra el desplazamiento de la capa límite. La gráfica está dividida por una línea de eje (24), la cual corta verticalmente el eje X.

Desde el punto cero de la gráfica referenciada en la FIG. 12 hasta la línea de eje (24), se muestra la capa límite laminar (16), y después de la línea de eje (24) se presenta la capa límite turbulenta (17). Debajo de la capa límite turbulenta se muestra la capa límite difusiva.

Uno de los efectos técnicos que tiene generar vórtices sobre la membrana (1) o energizar la capa límite, es aumentar la velocidad de muestreo y la concentración del analito sobre la fase aceptora.

En una modalidad de la invención, las aristas de unión entre los lados (10) y las caras inferiores del primer prisma (7) y del segundo prisma (8), son paralelas.

Haciendo referencia a la FIG. 7, se muestra un ejemplo en donde las líneas de corriente del flujo laminar (23) cruzan a través de los obstáculos de flujo (4), cambiando el flujo de régimen laminar a régimen turbulento sobre la membrana (1) que muestrea el analito.

En una modalidad de la invención, el dispositivo comprende un carrusel (12), en el cual, se pueden conectar uno o más dispositivos, con el fin de mejorar el muestreo de analito en una zona de interés.

5 Haciendo referencia a la FIG. 10 se presenta un carrusel (12) que comprende: una barra (13) y una pluralidad de brazos (14), que sobresalen de la barra (13). Donde el soporte de membrana (2) se conecta al extremo distal de brazo mediante elementos de sujeción seleccionados del grupo conformados por adhesivos, tornillos, clavos, pines, remaches y combinación de los mismos.

10

Para un mejor entendimiento de la presente invención, distal significa un punto cualquiera desde una barra (13) hasta un punto cualquiera de un brazo (14) que sobresale de dicha barra (13).

15 Haciendo referencia a la FIG. 11, se muestra una modalidad de la invención, en la que diferentes dispositivos, se conectan en el carrusel (12).

Una de las funciones de permitir que se puedan conectar más de un dispositivo al carrusel (12), es permitir muestrear más cantidad de analito, en el medio donde el dispositivo es
20 dispuesto.

Ejemplo 1

Se realizó un despliegue de una modalidad del dispositivo representado en la FIG. 1.
25 Para realizar el despliegue se realizó una calibración de los dispositivos. La calibración se realizó mediante el despliegue de 16 dispositivos en un tanque con condiciones controladas de velocidad de rotación, temperatura y concentración de los analitos.

Cada dispositivo tuvo un experimento de calibración aparte del otro. Previo a la
30 calibración, se realizó un experimento de estabilidad para determinar la tasa de pérdida de mercurio por absorción de los materiales, dado a que su pérdida podía llegar a ser representativa.

Para realizar la calibración de los dispositivos, fue necesario preparar las membranas. Los
35 elementos que se usaron para la preparación de las membranas fueron: una membrana de acetato de celulosa, un equipo de vacío que se usó para aplicar vacío a la membrana, agua ultrapura, pinzas y HNO_3 al 1%.

Para entendimiento de la presente invención, se entenderá por agua ultrapura, como agua
40 que solo contiene H_2O , iones de H^+ y OH^- .

Para la preparación de las membranas y despliegue en tanque de calibración se realizaron los siguientes pasos: se sumergió la membrana (1) de difusión de acetato de celulosa en HNO_3 al 1% durante 30 minutos, luego se enjuagó con agua ultrapura.

- 5 Se enjuagó el equipo de vacío y las pinzas con ácido y luego se enjuagaron con agua ultrapura. Se puso la membrana (1) seca sobre el equipo de vacío y se le aplicó vacío. Se humedeció la membrana (1) 3M con 20 mL de agua ultrapura mientras se le aplicaba vacío.
- 10 Se lavó la membrana (1) 3M con 20 mL de HNO_3 3.0 M (ultrapuro para análisis de metales), seguido de dos baños con 50 mL de agua ultrapura. Se dejó secar brevemente entre cada lavado.

- 15 Para convertir la membrana a la forma activa de amonio, se agregó 100 mL de acetato de amonio buffer 0.1 M a pH 5.3. Posteriormente se realizaron varios lavados con agua ultrapura. No se permitió que la membrana se secase durante el último lavado. Se puso la membrana (1) en el soporte de membrana (2) y se aseguró con el elemento de sujeción (3).

- 20 Se ubicaron los dispositivos en el carrusel (12) mediante dispositivos de sujeción como tornillos de teflón, apropiados para cada tipo de dispositivo. Por último, se fijaron la temperatura y la agitación en los valores deseados.

- Posterior al experimento de estabilidad y del experimento de calibración, se realizó la extracción del analito retenido en las membranas (1) mediante el siguiente procedimiento:
- 25

Ejemplo 2

- Para la extracción del analito del dispositivo, después de que éste muestreara en condiciones controladas, se realizaron los siguientes pasos: se enjuagaron los dispositivos con agua ultrapura, se retiró el elemento de sujeción (3) del dispositivo en un área limpia y se removió la membrana (1) de acetato de celulosa con un par de pinzas descontaminadas.
- 30

- Se puso la membrana (1) sobre el equipo de filtración por vacío. Se extrajeron los analitos aplicando tres veces 10 mL de HNO_3 3.0 M y después, se envasó la muestra en un envase plástico previamente lavado, remojado con ácido nítrico y enjuagado con agua ultrapura. Se refrigeraron las muestras hasta su análisis y luego se puso el muestreador de nuevo en el carrusel (12).
- 35

- Luego de la extracción del analito del dispositivo, se les realizó una digestión a cuatro membranas para verificar si se encontraba más analito atrapado. La digestión fue aplicada a 0,8 g de muestra en un horno a alta temperatura y con la adición de HNO_3 y HCl . La
- 40

digestión mostró ser incompleta y quedaron pequeñas partículas que no permitían realizar el análisis a estas muestras.

Ejemplo 3

5

El experimento consistió del despliegue de 16 dispositivos en un tanque con concentración de los analitos, temperatura y agitación constantes durante todo el experimento. Uno de los dispositivos no contenía membranas y su función consistía en mantener constantes las condiciones hidrodinámicas.

10

El experimento se comenzó con 93 litros de agua de suministro y se le adicionó 558 μL de un estándar de mercurio de 1 g L^{-1} para elevar la concentración en a $6\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$.

15

Para mantener la concentración de mercurio se alimentó el tanque con 800 mL d^{-1} de una solución de $96\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$ con agua de suministro. Esta solución fue preparada diariamente para evitar pérdidas de analito dentro del recipiente por evaporación. El volumen dentro del tanque permaneció muy constante durante todo el experimento, dado que por evaporación se pierde aproximadamente el mismo volumen de agua que ingresa a este.

20

Se realizaron 2 experimentos, uno con cada dispositivo, a una temperatura constante de $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una agitación de 10 cm s^{-1} . Cada día se tomaron dos muestras de agua de 90 mL para realizar la medición de Hg, Fe y Mn. Las muestras fueron tomadas a 15 cm de profundidad del tanque y luego se fijaron con 3 gotas de HNO_3 al 65% para ser refrigeradas hasta su análisis.

25

En los días 3, 6, 9, 12 y 15 de despliegue del dispositivo fueron extraídos tres réplicas de los dispositivos y se le extrajo las membranas (1) para realizarles la extracción del analito. Los dispositivos fueron puestos de vuelta en el carrusel (12) después de removerles las membranas (1) para mantener constantes las condiciones hidrodinámicas durante todo el experimento.

30

Dos dispositivos fueron preparados como blancos de experimentación. Estos dos dispositivos fueron almacenados con agua ultrapura hasta el final del experimento para extraer el analito.

35