

PROCESO Y APARATO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS MÚLTIPLES
CON MATERIAL BIOADSORBENTE Y MICROALGAS

5

CAMPO TÉCNICO

La presente invención se relaciona con un proceso de tratamiento que remueva nutrientes de las aguas residuales domésticas, mediante el uso combinado de unidades de pretratamiento con filtración a base de conchas de ostras, otros
10 materiales bioadsorbentes y microalgas.

El diseño del sistema de filtración y operación del mismo tiene un mecanismo multifuncional en serie y sostenido, debido a que en los reactores se integran procesos fisicoquímicos como la adsorción del bioadsorbente a base de conchas
15 otros materiales bioadsorbentes y la absorción biológica de la microalga lo que contribuye en una remoción significativa de fosfato en aguas residuales domésticas.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

20

Se ha encontrado que entre los efectos de los efluentes municipales está la eutrofización. Esta problemática comenzó en los años 40 y tomo mayor visibilidad en los años 60. Debido al impacto de sus efectos y a que en las últimas décadas las condiciones tróficas de muchas de las aguas continentales han aumentado
25 rápidamente. La eutroficación se ha convertido en una de las perturbaciones antropogénicas más extendidas y serias en los ecosistemas acuáticos. En la publicación del *A US Environmental Protection Agency Perspective. Journal of Environmental Quality*, 27 (2), 258-261, 1998, Parry, R., hace referencia a que en

los cuerpos de agua dulce el nutriente que más incide en la eutroficación es el fósforo, mientras que en los de agua salada, el de mayor incidencia es el nitrógeno. Así mismo, en 2001 Aertebjerg y otros en *European Environment Agency* afirma que el fósforo es un nutriente importante en el crecimiento reproductivo de las plantas y en la formación de ATP; generalmente se encuentra en su estado oxidado, como iones de ortofosfato inorgánico o en compuestos orgánicos. Específicamente, se halla en mayores concentraciones en el sedimento que en la columna de agua, en el enlace con el sedimento se libera, aunque, el equilibrio de las concentraciones de fósforo entre el sedimento y el agua está controlado por muchos factores, tales como el pH y el oxígeno disuelto.

Dentro de las alternativas tecnológicas que se han implementado para el tratamiento de aguas residuales (AR) provenientes tanto del sector doméstico, industrial y agropecuario, se encuentran métodos artificiales basados en sistemas ingenieriles para la remoción de nutrientes de estas. Teixeira y otros en la Revista Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, volumen 67, páginas 172-182, 2003., mencionan la implementación de reactores de lecho fluidizado con circulación interna (RALFCI) basado en el uso de biomasa activa con gran capacidad de remover excesos de materia orgánica y nitrógeno en AR.

20

De igual modo, como alternativas de eliminación del fósforo y el nitrógeno en AR se encuentran las lagunas de estabilización, los sistemas de disposición controlada en el suelo; los lodos activados y reactores aerobios con biopelícula, así como, la remoción por procesos físicoquímicos o la combinación de algunos de los anteriores. En este sentido, otra tecnología alternativa para la remoción de fósforo de AR de forma natural ha sido la implementación de microalgas, las cuales son microorganismos fotosintéticos que utilizan la energía del sol para crecer, además de consumir compuestos inorgánicos y CO₂, su uso para el

tratamiento de AR fue propuesto por primera vez por Caldwell (1940), quien reportó los estudios iniciales, sobre el uso de las microalgas como purificadoras de AR debido al aprovechamiento de nutrientes inorgánicos contenidos en el agua. Seguidamente, Oswald y Gotaas en 1957, publicaron un artículo titulado

5 “Photosynthesis in sewage treatment” en American Society Civil Engineering, 122, 73-105, en el que expusieron la posibilidad de realizar el aprovechamiento de las microalgas tanto para la remoción de contaminantes, como para la producción de biomasa vegetal, lo que puede ser considerado como valorización de las aguas residuales.

10

De esta manera, las microalgas han sido ampliamente utilizadas para tratamientos de aguas residuales tanto domésticas como industriales, constituyéndose en una tecnología de bajo costo. He y otros, en *Bioresource technology*, 146, 562-568, 2013 hacen referencia a que las microalgas permiten el reciclaje de nutrientes

15 como fósforo y nitrógeno, los cuales son incorporados a la biomasa y conllevan a la generación de oxígeno. Según Komolafe y otros en *Bioresource technology*, 154, 297–304, 2014., estas pueden reducir a su vez DBO, Coliformes y metales pesados en AR. Así mismo, Ruiz y otros., en *Bioresource technology*, 126, 247 – 253, 2012., encontraron que los porcentajes de remoción de nutrientes fueron

20 satisfactorios al utilizar microalgas y permiten la combinación del tratamiento de AR con la producción de biomasa. Adicional a lo anterior, N. Abdel-Raouf y otros., en *Saudi Journal of Biological Sciences* 19, 257-275, 2012, señalan que el uso de microalgas ofrecen un biotratamiento terciario de las AR, permitiendo también la remoción de metales pesados e inhibición de coliformes.

25

He y otros (2013), hacen referencia en su investigación que dentro de las especies más estudiadas en remoción de contaminantes, se encuentra *Chlorella sp*, que es una especie de rápido crecimiento y corto tiempo de generación, con la capacidad

de tolerar condiciones ambientales rigurosas como las encontradas en las aguas residuales, asimilando eficientemente el Nitrógeno y el Fosforo del AR; esta especie tiene una alta capacidad de remoción de nutrientes (aproximadamente 80%) en tratamientos primarios, así como secundarios y en ciertas condiciones
 5 puede remover completamente nitrógeno amoniacal, nitrato, nitrógeno y fosforo total.

Dentro de los reactores más utilizados para el crecimiento de la especie *Chlorella sp* se encuentran los fotobiorreactores de tipo tubular. Básicamente,
 10 estos reactores son un sistema cerrado consistente en un tubo transparente dentro del cual crecen las algas utilizando el AR como fuente de nutrientes para su crecimiento. Una de las primeras publicaciones en este tema fue realizada por Davis y otros., del *Laboratory to Pilot Plant. Ccarnegie Institution of Washington D. C* en 1953.

15

En la patente US20160272524 de 2015 se refiere un procedimiento para el tratamiento AR por medio de algas fotosintéticamente activas que forman un sedimento en estado de reposo, que comprenden las siguiente etapas: a) suministro de aguas residuales a las algas y formación del sedimento en estado
 20 de reposo, b) transporte del agua residual suministrada a las algas contra la gravedad desde un nivel inferior a un nivel superior, mientras simultáneamente se exponen las aguas residuales mezclada con el AR a la luz; c) introducción de las AR suministradas a las algas desde el nivel superior hasta la región superior de un tanque de sedimentación; d) permitir que las algas sedimenten en el tanque de
 25 sedimentación y e) eliminar las aguas residuales liberadas de las algas por sedimentación como AR tratadas.

Por otra parte, las nuevas investigaciones apuntan a la utilización de materiales de desecho como bioadsorbentes BADs. Uzun y otros., en *Journal of Hazardous Materials*, 161(2), 1040-1045, 2009 estudiaron la remoción de metales pesados con materiales BADs; Panda y otros., en *Journal of Hazardous Materials*, 164 (1), 374-379, la remoción de colorantes en AR, promulgándose así la utilización de residuos de origen agrícola, industrial o de desechos municipales, como lo describen Cardona y otros., en la Revista *Ingenierías* 17 (1), 1 -9, y Chao y otros., en la Revista *Interciencia* 26 (10), 774 – 778. Con el uso de dichos materiales se tendrían materiales apropiados para la remoción de contaminantes a un bajo costo y con menor impacto ambiental.

Algunos tipos de BADs son de amplio espectro, es decir, que no son selectivos para un tipo de contaminante en particular, mientras que otros pueden ser específicos para ciertos tipos de contaminantes. La bioadsorción es un proceso que ha sido estudiado por muchos investigadores, demostrando ser una técnica alternativa a los métodos convencionales para el tratamiento de diferentes efluentes industriales contaminados con metales pesados y colorantes. Es por esto que se ha intensificado la utilización de materiales de origen biológico, tales como: algas (Cuizano y otros., 2010), hongos (Acosta y otros., 2007), bacterias (Monge-Amaya y otros., 2008), restos de mariscos (Moreno, 2013), restos agrícolas (Tapia y otros., 2011), lodos metálicos (Yang y otros., 2006) los cuales se encuentran en gran abundancia y son fácilmente transformables a bioadsorbentes. Rafatullah y otros., en *Journal of hazardous materials*, 166 (2), 1050 – 1059, 2010., hizo alusión a que una de las ventajas del uso de biomateriales como adsorbentes es que son abundantes en la naturaleza y están disponibles a un muy bajo costo.

En los últimos años han incrementado los estudios sobre el uso de materiales bioadsorbentes, sin embargo, son pocos los dispositivos o sistemas desarrollados basándose en la utilidad que estos ofrecen. Al realizar la búsqueda en diversas bases de datos de patentes y/o artículos científicos fue poca la información encontrada en la que se relaciona el uso de bioadsorbente a base de ostras.

Wanielista y otros., en la patente US007927484B2 (2011) propusieron un sistema de filtración o bioretención de compuestos con nitrógeno y fósforo en aguas residuales, utilizando una mezcla de materiales reciclados como neumáticos triturados, aserrín, cascara de naranja y de coco, hojas de compost, concha de ostra, cáscaras de naranja y otros materiales de origen natural incluyendo la arena, zeolitas y arcilla.

Por su parte, Fengming y Xiangjun en la patente CN103585995A (2014), dieron a conocer un nuevo material consistente de una mezcla de diversos materiales tales como titanio blanco, arena de cuarzo, caolín y concha de ostras, entre otros. En este estudio solo fue patentado el material, más no se presenta un dispositivo o tecnología para su utilización. También se han patentado otros materiales similares consistentes de mezclas de diferente material bioabsorbente y materiales inertes (Fengming y Xiangjun (2014- CN103585966A), (Quoquiang 2014 – CN104176805A), (Quoquiang 2014 – CN104176806A), (Zhen 2015 – CN104326546A), (Wang Lu y Xu Jing 2015- CN104445448). Adicionalmente, se ha encontrado que los materiales bioadsorbentes han sido aplicados también para el tratamiento de aguas residuales industriales contaminadas con colorantes provenientes de la industria textil, como lo describe la patente WO0242228 (2002).

También se encuentran patentes en las cuales se mencionan metodologías para el tratamiento de las AR solo con el uso de microalgas. Dentro de ellas se encuentra la patente KR101444643 (B1) de 2016, la cual se refiere a un aparato

para el tratamiento de las aguas residuales con microalgas, consistente de un tanque de filtración de biopelícula en el extremo frontal de un tanque de fotosíntesis/nitrificación, para la eliminación de material flotante y reducción de la turbidez, minimizando así la reducción de la transmitancia de luz debida a las bacterias heterotróficas, y permitiendo al mismo tiempo que los microorganismos de nitrificación, se adhieran a un soporte flotante, crezcan sobre él, y utilicen el oxígeno generado por fotosíntesis de microorganismos en el tanque de fotosíntesis/nitrificación con microalgas. Como resultado, los autores mencionan que se puede evitar la competencia de sustratos entre microorganismo para mejorar la eficiencia de tratamiento de materia orgánica, nitrógeno y fósforo con las microalgas.

La patente CN102336498 (B) del año 2012 hace alusión a otro procedimiento para el tratamiento de AR, dentro de él se incluyen las siguientes etapas: eliminación de impurezas y sedimentos de las AR con altas concentraciones de nitrógeno y fosforo, luego tratamiento del AR utilizando lodo activo en un reactor discontinuo de secuenciación, seguidamente se realiza la decantación del sobrenadante del lote de secuenciación, adicionando el sobrenadante en un biorreactor de membrana para tratamiento aeróbico adicional. Posteriormente, se filtra por membrana de ultrafiltración en el biorreactor para eliminar micro-suspensiones y bacterias. El sobrenadante de ultrafiltración generado se añade a un fotobiorreactor, se desinfecta por ozono y se añaden filamentos de algas, se adiciona dióxido de carbono para realizar el cultivo de las microalgas y luego estas son llevadas a una piscina de sedimentación para ser separadas. La patente CN103043851 (A) de 2013 describe un procedimiento similar para tratamiento de AR con cultivos de microalgas, procesos de floculación, clarificación y filtración conectados en serie.

Con base en los hallazgos en las diferentes patentes y artículos científicos, se puede afirmar que, pese a que se han desarrollado invenciones en torno al uso de las microalgas para el tratamiento de AR, así como desarrollos de nuevos
5 materiales que incluyen la concha de ostra, cada uno de ellos presenta diferentes tipos de combinaciones en cuanto al material y no revelan un dispositivo o sistema que permita su aplicación en las plantas convencionales de tratamientos de aguas residuales. Por consiguiente, el procedimiento planteado permitirá el desarrollo potencial de una invención que permita la remoción de compuestos como el
10 nitrógeno y fosforo y a su vez conlleve a la generación de un valor agregado a través del aprovechamiento de la biomasa generada en el proceso en simultaneo del sistema de filtración combinado bioabsorbente-microalgas.

RESUMEN DE LA INVENCIÓN

15

La presente invención está dirigida a un proceso para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias. El diseño del proceso consiste en el uso combinado de unidades de pretratamiento con filtración a base de material bioadsorbente de conchas de moluscos de los géneros *Crassostrea* sp. y/o *Polymesoda* sp., rocas
20 coralinas de tipo coquina y/o cultivo de microalgas. Su operación implica un mecanismo multifuncional en serie y sostenido, debido a que en los reactores se integran procesos fisicoquímicos como la adsorción del material a base de conchas y la absorción biológica de parte de la microalga lo que contribuye en una remoción significativa de fosfato en aguas residuales domésticas. El proceso para
25 el tratamiento de aguas residuales domésticas de acuerdo con la presente solicitud consiste en conectar dos o más bioreactores en serie, pasar el agua residual a través de un tubo central segmentado integrado de cámaras intercaladas con o sin bioadsorbentes y sale del tubo central al biorreactor a través

de perforaciones en la base de dicho tubo central. Luego, el agua pasa a la zona ubicada entre el tubo central y la pared del cuerpo del biorreactor donde las aguas residuales entran en contacto con las microalgas, de ahí se pasa al siguiente biorreactor. El agua sale del primer reactor por la parte superior e ingresa al
5 siguiente reactor por la parte superior del tubo central, donde se repite el proceso.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La presente invención se entiende de forma más clara a partir de las siguientes
10 figuras donde se muestran los componentes y resultados asociados a este proceso y aparato, así como los elementos novedosos con respecto al estado del arte, en donde, las figuras no pretenden limitar el alcance de la invención, el cual está únicamente dado por las reivindicaciones adjuntas, en donde:

15 La figura 1 corresponde a una vista de un biorreactor de acuerdo con la presente solicitud.

La figura 2 corresponde a una vista frontal detallada de una de las cámaras intercaladas que forman parte del tubo central segmentado del biorreactor, como
20 se muestra en la figura 1.

La figura 3 corresponde a una vista de corte transversal de un cilindro de mallas de plástico con material bioadsorbente ubicado al interior del tubo central en la
figura 2.

25

La figura 4 corresponde a un conjunto de biorreactores para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias de acuerdo con la presente solicitud.

La figura 5 corresponde a un diagrama de flujo del proceso de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

5

La presente invención está dirigida a un proceso para el tratamiento de aguas residuales domésticas. El proceso consiste de dos o más biorreactores conectados en serie o en paralelo, los cuales toman el agua residual domiciliaria y la tratan para luego ser descargada.

10

La Figura 1 muestra una vista de un biorreactor de acuerdo con una modalidad de la presente invención. El biorreactor comprende una entrada de aguas residuales domésticas (1) conectada mediante una unión universal (2) al tubo de alimentación (4) del biorreactor, el cual comprende una válvula (5) unida mediante un tubo en T (3) al tubo de alimentación (4). En una modalidad de acuerdo con la presente invención, el tubo central tiene aproximadamente la misma longitud que el cuerpo del biorreactor.

15

El tubo de alimentación (4) se conecta al biorreactor mediante una entrada del biorreactor, la cual se encuentra en la parte superior del biorreactor, tiene un diámetro mayor que el tubo de alimentación (4) y está asegurada al biorreactor mediante un flanche (6). La entrada al biorreactor se acopla a un tubo interno del biorreactor (9) mediante un acople (7); dicho tubo interno del biorreactor (9), consiste en un tubo central segmentado por cámaras intercaladas (9a), con o sin material bioadsorbente conectados mediante acoples (10) el cual, en una modalidad de la presente invención, dos o más segmentos del tubo central contienen cilindros de malla de plástico con diámetro de abertura entre 1.0 a 3.0 mm, el cual a su vez contienen material particulado de diferentes tamaños de

20

25

conchas de moluscos de los géneros *Crassostrea* sp. y/o *Polymesoda* sp. y/o rocas coralinas de tipo coquina que oscilan entre 0.45 a 3.5 mm en envolturas de malla plástica de polietileno con diámetro de abertura entre 0.3 a 1.8 mm.

- 5 Entre el tubo interior del biorreactor (9) y la pared del cuerpo del biorreactor (8) se forma un espacio (11) donde se inoculan microalgas vivas. En una modalidad de la presente invención, el diámetro interno del biorreactor es aproximadamente cuatro veces el diámetro interno del tubo central. En una modalidad de la presente invención, las microalgas empleadas son del género *Chlorella* sp.

10

El tubo central del biorreactor (9) comprende, en su parte inferior, un acople (12) que une el tubo interno del biorreactor (9) a una tapa con múltiples perforaciones en el área de salida (14). En la parte inferior del biorreactor encontramos una entrada de aireación (13), la cual alimenta aire al espacio (11) donde se encuentran las microalgas. El flanche (6) aloja también el tubo de salida del biorreactor (16), el cual comprende también una válvula (15) acoplada mediante un tubo en T (18) al tubo de salida. Dicho tubo de salida se conecta a un tubo de entrada de otro biorreactor o a una tubería de salida del sistema mediante una unión universal (17).

20

La figura 4 muestra una vista del aparato para el tratamiento de aguas residuales, de acuerdo con una modalidad de la presente solicitud. Dicho aparato comprende cuatro biorreactores (201, 202, 203, 204) conectados en serie. En dicha modalidad, cada uno de los tubos centrales está segmentado por cámaras intercaladas, con o sin material bioadsorbente conectados mediante acoples, en el que los segmentos contienen partículas de material bioadsorbente de conchas de los géneros *Crassostrea* sp. y/o *Polymesoda* sp. y/o rocas coralinas de tipo coquina de diferentes tamaños de partícula recubiertas en mallas de plástico de

25

diferentes diámetros de abertura, donde el tubo central segmentado del biorreactor (201) contiene un tamaño de partícula grueso, en tanto que el tubo central segmentado del biorreactor (202) tiene un tamaño de partícula medio, y los tubos centrales segmentados de los biorreactores (203, 204) contienen un tamaño de
5 partícula fino.

En una modalidad alternativa, el tubo central segmentado por cámaras intercaladas del primero (201) de los biorreactores tiene una distribución de segmentos en la parte superior con material bioadsorbente con un tamaño de
10 partícula grueso, hasta una altura igual a la mitad de la longitud del mismo, y una segunda distribución de segmentos con material bioadsorbente en la parte inferior con un tamaño de partícula medio; el tubo central del segundo biorreactor (202) tiene una distribución de segmentos en la parte superior con material bioadsorbente con un tamaño de partícula grueso y una segunda distribución de
15 segmentos con el material bioadsorbente en la parte inferior con un tamaño de partícula medio; y los tubos centrales segmentados por cámaras intercaladas de los biorreactores restantes (203, 204) contienen el material bioadsorbente con un tamaño de partícula fino distribuido en las cámaras intercaladas. En una modalidad de la presente invención, el material bioadsorbente tiene un tamaño de
20 partícula entre 0,45 mm y 3,5 mm.

En una modalidad de la presente invención, el biorreactor es fabricado de un material plástico transparente como, por ejemplo, acrílico y el tubo central segmentado por cámaras intercaladas es fabricado de un material plástico opaco
25 como, por ejemplo, PVC.

El experto con habilidad en la materia podrá apreciar que es posible variar la distribución y composición de las cámaras que contienen el material bioadsorbente

dentro de los tubos centrales de cada uno de los biorreactores sin alejarse del espíritu y el alcance de la presente solicitud. De igual forma, el técnico con habilidad en la materia podrá apreciar que es posible aumentar o reducir el número de biorreactores empleados por proceso, la manera en que se conectan, o sea, si van en serie o en paralelo, y las dimensiones de los mismos sin alejarse del espíritu de la presente invención.

La presente invención también enseña un proceso para la remoción de fosfatos a partir de aguas residuales domesticas CARACTERIZADO porque comprende los pasos de:

- i) Ingresar el agua residual domestica con concentraciones de fosfatos a un reactor (201) en donde el agua residual entra en contacto de forma descendente con un material bioadsorbente (BAD) contenido en una tubería central vertical que permite la mezcla entre el material bioadsorbente, el agua residual;
- ii) Extraer el agua por la parte inferior del tubo generando un cambio de sentido ascendente hacia la cámara exterior que contiene microalgas;
- iii) Llevar el agua residual tratada con un porcentaje de remoción de fosfatos inicial por una tubería hacia los reactores 202, 203 y 204 localizados en serie repitiendo el ciclo de remoción anteriormente mencionado en cada uno de los reactores.

En donde, el tamaño del inóculo inicial del cultivo con microalgas es mayor a 0.85×10^6 células/ml de *Chorella sp* obtenido durante la fase exponencial, de un cultivo stock, previamente mantenido en condiciones de cultivo in vitro en medio con agua residual doméstica filtrada

En donde, la preparación del material bioadsorbente utilizado para la remoción de fosfatos incluye los siguientes pasos:

- a) lavar con agua para eliminar los restos;
- b) eliminar impurezas y materia orgánica, mediante sumersión de sendas cantidades en 100 ml de solución de HCL al 10% durante 24 horas y haciendo un relavado en agua caliente;
- c) someter el material a molienda en un molino para reducir el tamaño; y
- d) clasificar mediante tamizado (N° 16, 10 y 8, Norma ASTM E• 11/95), con tamaños de partícula entre >1,00 a 3,35 mm.

Si bien hasta ahora se ha hecho una descripción de una o más modalidades de la presente invención, la misma no es de carácter limitante y el experto con habilidad en la materia podrá apreciar que es posible desarrollar otras versiones con algunas modificaciones, pero sin alejarse del espíritu y el alcance de la invención, como se establece en el capítulo reivindicatorio a continuación.

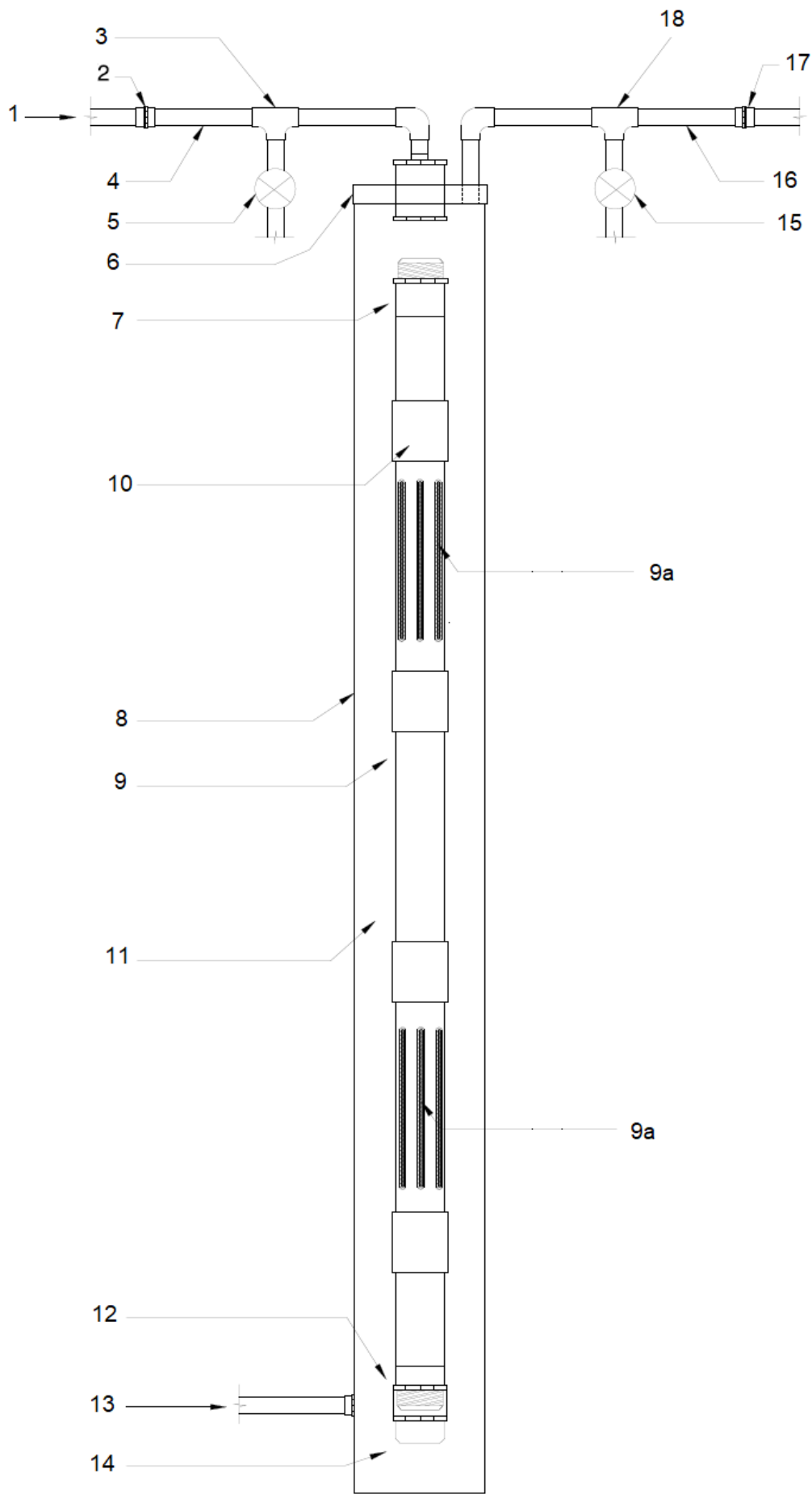


FIG. 1

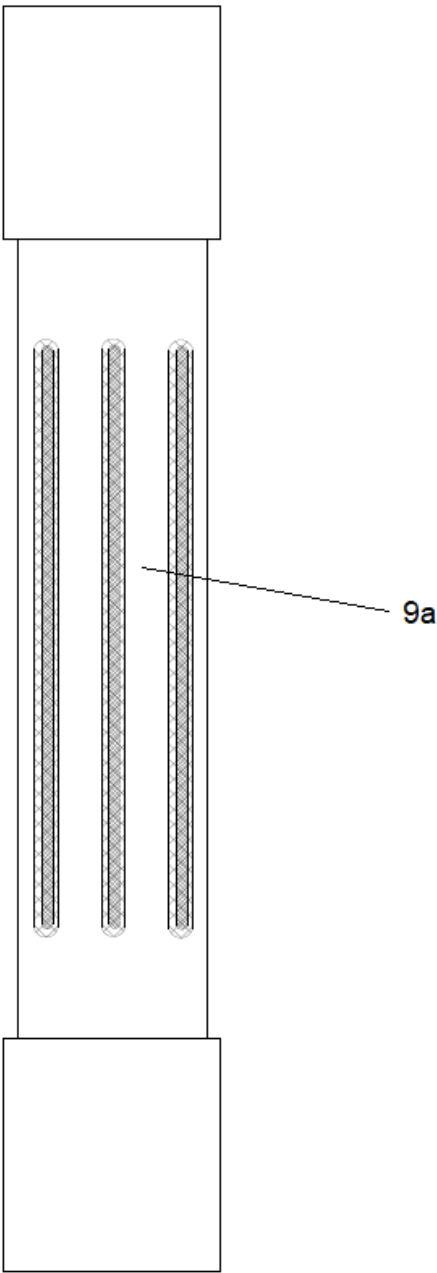


FIG. 2

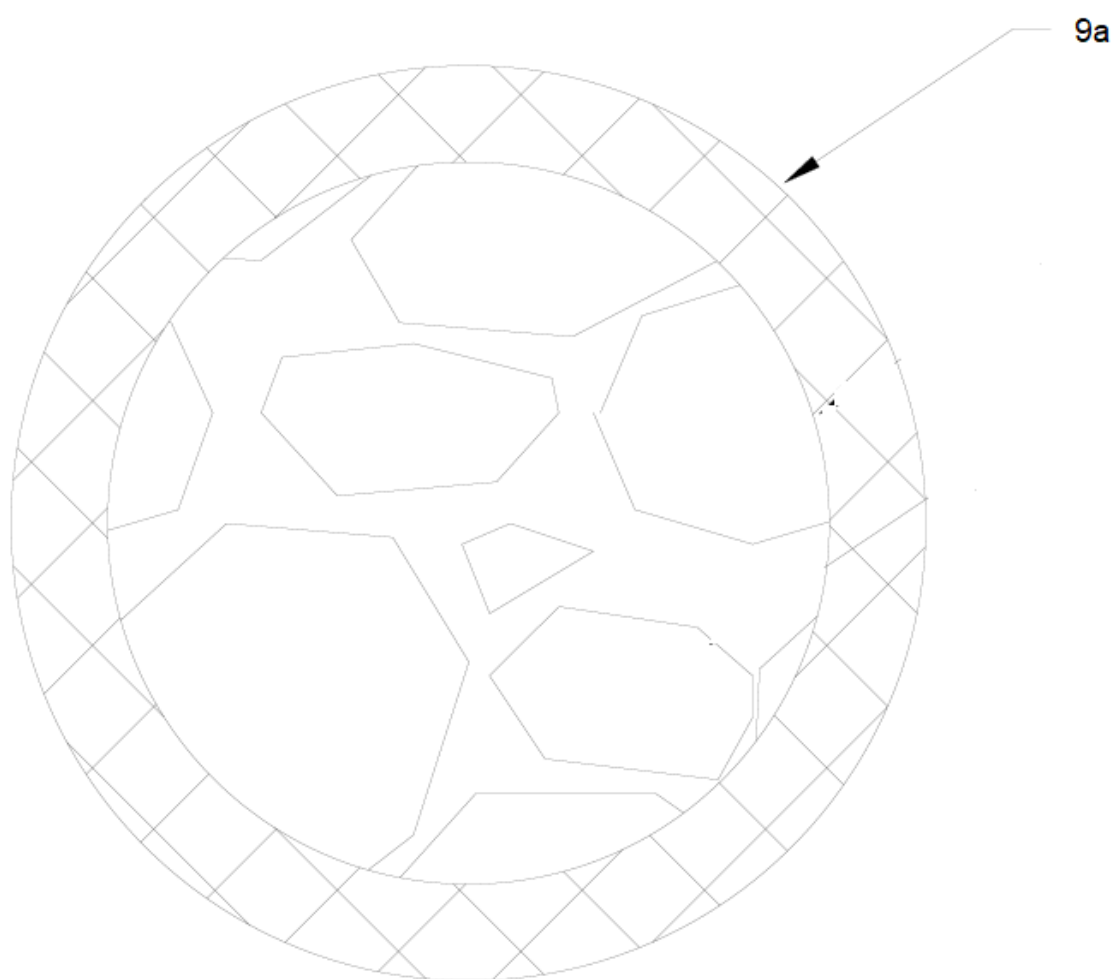


FIG. 3

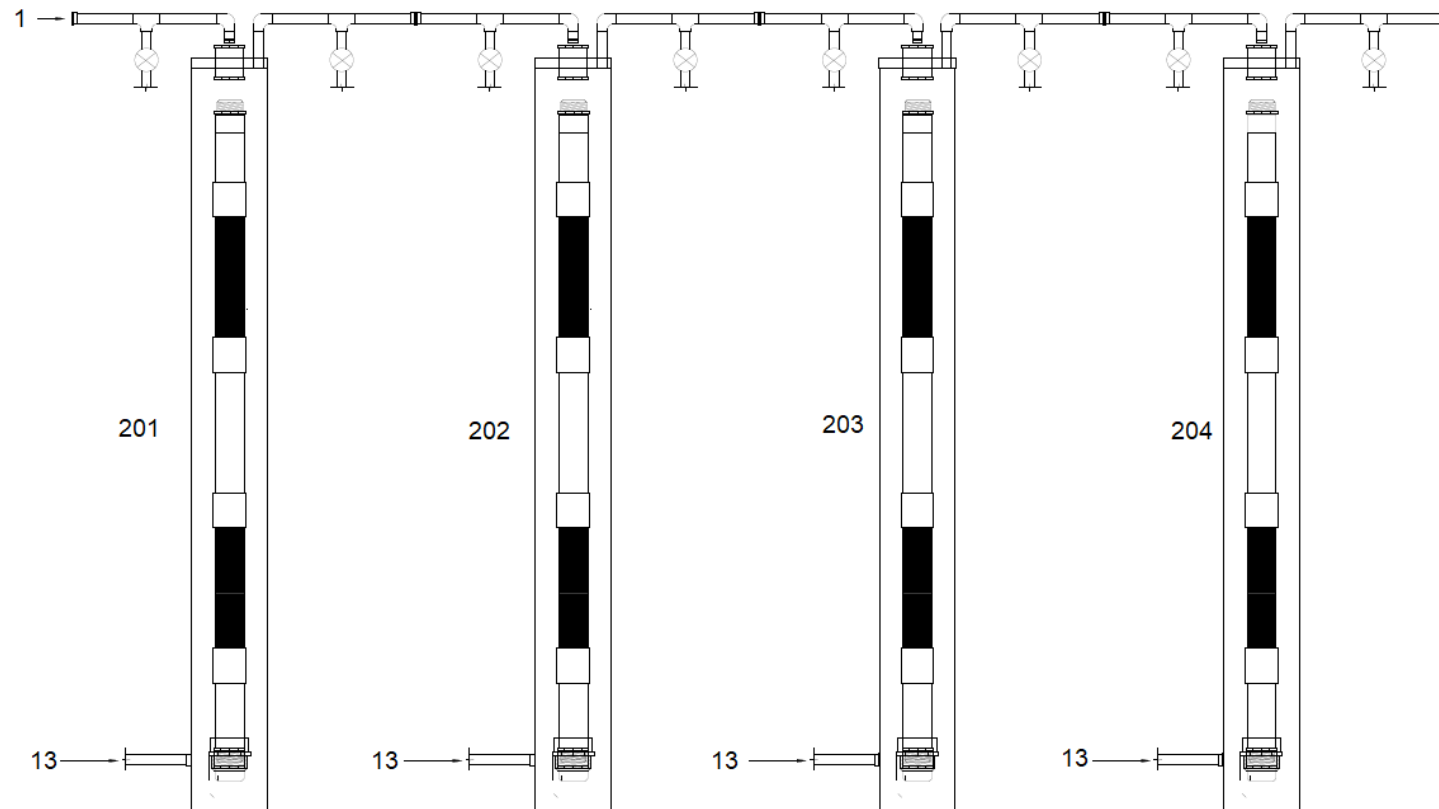


FIG. 4

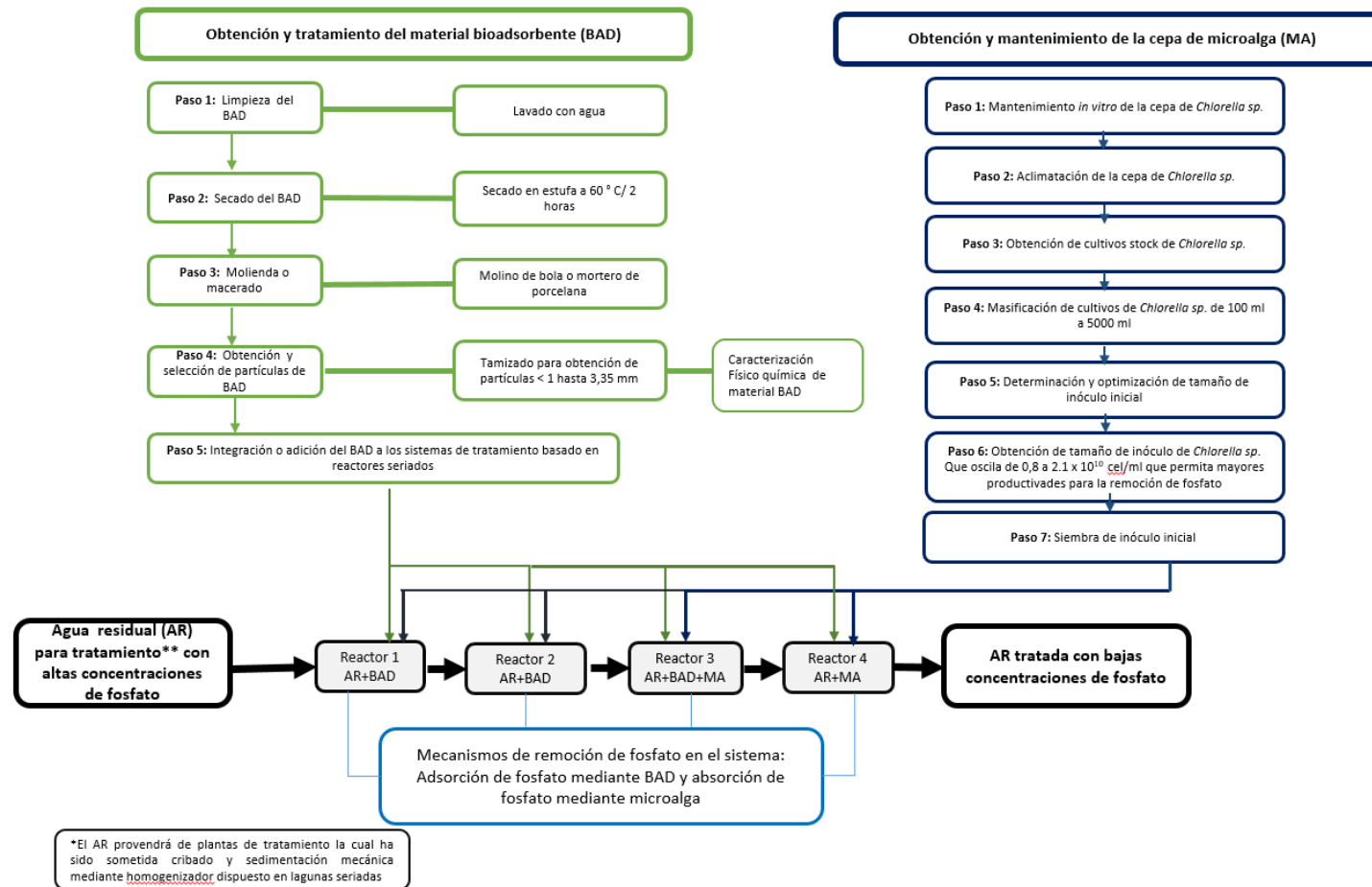


FIG. 5