

TÍTULO DE PATENTE NO. 342095

Titular(es): CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ASISTENCIA EN TECNOLOGÍA Y DISEÑO DEL ESTADO DE JALISCO, A.C.

Domicilio: Av. Normalistas No. 800, Colonia Colinas de La Normal, 44270, Guadalajara, Jalisco, MÉXICO

Denominación: SISTEMA Y PROCESO MODULAR PARA EL TRATAMIENTO PASIVO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Clasificación: Int.Cl.8: C02F3/06; C02F3/30; C02F9/14

Inventor(es): ALBERTO LÓPEZ LÓPEZ; JOSÉ DE ANDA SÁNCHEZ

SOLICITUD

Número:
MX/a/2010/014332

Fecha de presentación:
20 de diciembre de 2010

Hora:
15:57

PRIORIDAD

País:

Fecha:

Número:

Vigencia: Veinte años

Fecha de Vencimiento: 20 de diciembre de 2030

La patente de referencia se otorga con fundamento en los artículos 1º, 2º fracción V, 6º fracción III, y 59 de la Ley de la Propiedad Industrial.

De conformidad con el artículo 23 de la Ley de la Propiedad Industrial, la presente patente tiene una vigencia de veinte años improrrogables, contada a partir de la fecha de presentación de la solicitud y estará sujeta al pago de la tarifa para mantener vigentes los derechos.

Quien suscribe el presente título lo hace con fundamento en lo dispuesto por los artículos 6º fracciones III y 7º bis 2 de la Ley de la Propiedad Industrial (Diario Oficial de la Federación (D.O.F.) 27/06/1991, reformada el 02/08/1994, 25/10/1996, 26/12/1997, 17/05/1999, 26/01/2004, 16/06/2005, 25/01/2006, 06/05/2009, 06/01/2010, 18/06/2010, 28/06/2010, 27/01/2012 y 09/04/2012); artículos 1º, 3º fracción V inciso a), 4º y 12º fracciones I y III del Reglamento del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (D.O.F. 14/12/1999, reformado el 01/07/2002, 15/07/2004, 28/07/2004 y 7/09/2007); artículos 1º, 3º, 4º, 5º fracción V inciso a), 16 fracciones I y III y 30 del Estatuto Orgánico del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (D.O.F. 27/12/1999, reformado el 10/10/2002, 29/07/2004, 04/08/2004 y 13/09/2007); 1º, 3º y 5º inciso a) del Acuerdo que delega facultades en los Directores Generales Adjuntos, Coordinador, Directores Divisionales, Titulares de las Oficinas Regionales, Subdirectores Divisionales, Coordinadores Departamentales y otros subalternos del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. (D.O.F. 15/12/1999, reformado el 04/02/2000, 29/07/2004, 04/08/2004 y 13/09/2007).

Fecha de expedición: 9 de agosto de 2016

LA DIRECTORA DIVISIONAL DE PATENTES



NAHANNY CANAL REYES



342095

1



SISTEMA Y PROCESO MODULAR PARA EL TRATAMIENTO PASIVO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

CAMPO TECNICO

5 La presente invención tiene su aplicación en el campo del tratamiento de aguas residuales domésticas. El diseño del sistema de tratamiento “pasivo” (proceso de degradación natural de materia orgánica) está integrado por tres etapas secuenciales: un tanque séptico, un filtro anaerobio y un humedal de flujo subsuperficial que decora el entorno ambiental con plantas ornamentales. Se recomienda la aplicación de este sistema en las regiones de climas tropicales
10 y/o subtropicales. El sistema es modular y tiene la capacidad de tratamiento de flujos de agua residual equivalentes a los generadas por poblaciones de hasta 2500 habitantes, por tanto su ámbito de aplicación es en comunidades rurales, conjuntos habitacionales, villas, pequeños hoteles y similares.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 En el mercado comercial existen sistemas y tecnologías en materia de tratamiento de aguas residuales doméstica y municipales, además de que la literatura reporta las formas de diseño, instalación y operación de los mismos, por ejemplo sistemas de lodos activados, biodiscos, lagunas aireadas (Tchobanoglous y Burton, 1991; Ramahalo 1993); sin embargo una de las
20 grandes desventajas son los costos de construcción y de operación, esta última derivada del elevado consumo de energía eléctrica (Lettinga y col., 1993; Mara, 2004; Morel y Diener, 2006). Así mismo, hay tecnología y literatura mundial que reportan trabajos sobre formas de construir sistemas de tratamiento pasivos (proceso de degradación natural de materia orgánica con mínimo o nulo consumo de energía eléctrica) para aguas residuales domésticas, así como
25 la eficiencia que logran estos sistemas y la posibilidad de reutilizar el agua tratada para riego agrícola o en áreas verdes. Los sistemas de tratamiento pasivos pueden ser primarios, secundarios o de la combinación de ambos. Los tratamientos primarios comprenden, los tanques o fosas sépticas, sedimentador anaerobio de flujo ascendente de una o varias etapas (con baffles) y las lagunas de sedimentación y estabilización (Reed y col., 1995; Gelt, 1997;
30 EPA, 1999a; 1999b; Jantrania, 2000; Mara, 2004; Morel y Diener, 2006; Mara 2008). Los tratamientos secundarios incluyen los filtros anaerobios de flujo ascendente y descendente, los

filtros aerobios de percolación (Tchobanoglous y Burton, 1991), los humedales artificiales de flujo superficial y de flujo subsuperficial con sentido horizontal o vertical (EPA, 1993a; 1993b; Eifert, 1999; EPD, 2002). Las eficiencias de remoción de materia orgánica y en general de contaminantes en los sistemas de tratamiento pasivos o naturales varían en cada caso, pudiendo alcanzar eficiencias relativamente altas cuando se combinan los tratamientos primarios con los secundarios (Rivera-Ballesteros, 1998; Morel y Diener 2006; Nguyen y col., 2007; Coulibaly y col., 2008; Zhang y col., 2009).

A nivel de sistemas de tratamiento individuales, conjunto de viviendas aisladas o pequeñas comunidades rurales que carecen de una red de alcantarillado municipal se utilizan frecuentemente las fosas sépticas o tanques Imhoff (Tchobanoglous y Burton 1991). Se trata de sistemas de tratamiento cerrados, donde el agua semitratada es enviada o infiltrada en pozos de absorción, poniendo en riesgo el subsuelo y agua subterránea por la contaminación potencial cuando se inyecta agua semitratada en forma continua o cuando los pozos de absorción no están bien diseñados (EPA, 1999c; Lesikar, 1999).

Las lagunas de estabilización se han utilizado en diversos países en vías de desarrollo como proceso para reducir los contaminantes presentes en las aguas residuales, tanto domésticas como municipales (EPA, 1999b; Mara, 2004; Peña-Varón y Mara, 2004; Mara, 2008). Sin embargo, estos sistemas requieren de tiempos de retención hidráulicos (TRH) relativamente altos para lograr eficiencias de remoción de la materia orgánica mayores al 80%, en consecuencia demandan superficies importantes para su instalación, por ser sistemas abiertos generan malos olores, inducen la proliferación de fauna nociva, poniendo en riesgo la salud de los animales y de la población cercana a estas instalaciones (Hickey y col., 1989).

El filtro anaerobio es un reactor biológico en cuyo interior hay un lecho o empaque para soporte de la biopelícula. El agua residual fluye en sentido ascendente o descendente con un régimen de flujo tipo pistón y entra en contacto con el lecho sobre el cual se fijan y se desarrollan bacterias anaerobias en forma de biopelícula inmovilizada. El proceso no requiere de energía mecánica ni instrumentación compleja, lo cual se refleja en bajos costos de inversión, operación y mantenimiento. El filtro anaerobio también amortigua variaciones pequeñas de pH y carga orgánica, logrando remover hasta 85% de materia orgánica (Khanal, 2008).

Los humedales artificiales son sistemas de tratamiento pasivos de aguas residuales domésticas y municipales, diseñados a base de plantas acuáticas, en los que se aumenta la capacidad depuradora o eficiencia de tratamiento, mediante la optimización de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en esos sistemas, alcanzando eficiencias de remoción de materia orgánica del orden del 80% (Kadlec y Knight, 1996; Gelt, 1997; Kangas, 2003). Gracias al uso de plantas acuáticas, los humedales artificiales logran una mejor inducción de oxígeno al agua, se incrementa la eficiencia en la remoción de nutrientes (nitrógeno y fósforo), se reduce el número de coliformes totales, fecales y *Salmonella sp* (Zdragas y col., 2002); en este sentido las descargas de fluentes de los humedales artificiales a cuerpos de agua (ríos, lagos y arroyos) disminuyen sustancialmente los efectos negativos a los ecosistemas acuáticos (EPA, 1993b).

Los humedales artificiales generalmente tienen costos de construcción, operación y mantenimiento más bajos en comparación con los sistemas de tratamiento convencionales, lodos activados, biodiscos, lagunas aireadas; además la operación y mantenimiento se consideran simples (Huang y col., 2000; Kivaisi, 2001). Su uso es especialmente apropiado para comunidades pequeñas debido a su facilidad de operación y disponibilidad de terreno (EPA, 1993a; Tousignant y col., 1999; EPD, 2002). Un requisito indispensable para la operación correcta de un humedal es que la vegetación acuática, flotante o fija, debe removerse continuamente con el fin de evitar infestaciones. Si se permite la infestación por malezas acuáticas, se incrementa la concentración de nutrientes biodisponibles, se forman zona de anegamiento generalmente anóxicas y en consecuencia la producción de malos olores y proliferación de bacterias e insectos nocivos que son vectores de enfermedades transmisibles al ser humano (WHO, 2006; Fisher y Acreman, 2004; EPA, 2004).

Un paso adicional que se puede dar en este sentido, es generar un sistema semiabierto a través de humedales artificiales de flujo subsuperficial con sentido horizontal, en donde el agua no está expuesta al ambiente de forma directa ya que fluye, en su proceso de depuración, por debajo de un lecho de partículas sólidas, evitando el contacto directo con el agua residual (Kadlec y Knight, 1996; Crites y Tchobanoglous, 2000).

En la mayoría de los humedales artificiales de flujo subsuperficial y sentido horizontal se propone el uso de plantas macrófitas monocotiledóneas pandanales fijas o flotantes de la

familia tifáceas y ciperáceas tales como el Tule (*Typha sp.*), tulillo (*Carex sp.*), carrizo (*Scirpus sp.*) y juncos (*Juncos sp.*) (Wallace, 1998; 2005; Coleman, 2001; Flowers, 2002; Whitehill, 2003; Austin y col., 2004; Lovera y col., 2006). Otros estudios reportan el uso de plantas acuáticas flotantes para la captura de metales pesados entre otros contaminantes, tales como la *Salvinia sp.*, lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), entre otras (Celis-Hidalgo y col., 2005).

En México existe una patente (Pat. MX 210924) concedida a Luna-Pabello y Durán-Domínguez de Bazúa (2002), denomina “Humedales artificiales con sentido de flujo horizontal y vertical” y se refiere a humedales artificiales en donde se utilizan plantas macrófitas con un correcto flujo de agua para la depuración adecuada del agua residual. Lo que se propuso en esta patente es el uso de las raíces de plantas como la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y el papiro (*Cyperus, papyrus*). En este humedal se utilizó el *Tezontle* como material de empaque en la construcción y operación del humedal. La desventaja que presenta esta patente es que se refiere a un humedal como etapa única de tratamiento de las aguas residuales, además de que no se especifica el tipo y características del agua residual, pudiendo tener problemas operacionales y de mantenimiento a elevadas concentraciones de materia orgánica y contaminante tóxicos presentes en el agua residual a tratar.

Existe otra patente internacional (CO2F3/32) otorgada a Lihua (2005), denominada “Método para tratar aguas residuales domésticas a través de humedales artificiales de flujo combinado horizontal y vertical”. La Patente se refiere a una aplicación de los humedales artificiales para tratar aguas residuales domésticas. El agua residual entra primero a un humedal de flujo vertical, donde el agua recibe básicamente un tratamiento por filtración; posteriormente el agua es conducida al humedal de flujo superficial con sentido horizontal, el cual opera bajo un proceso hidropónico para la producción de vegetales comestibles y de plantas ornamentales. Este sistema de tratamiento de dos humedales en serie, no contempla un humedal de flujo subsuperficial, ni el mismo material de relleno y sustrato, como los que se presentan en esta invención.

Las especies de plantas ornamentales hasta ahora estudiadas y reportadas en la literatura científica con el objetivo de tratar aguas residuales domésticas en humedales artificiales de

flujo subsuperficial, con eficiencias de remoción altas, son escasas (Belmont y Metcalfe 2003, Belmont y col., 2004; Zurita y col., 2006; Zurita y col., 2010). Las plantas hasta ahora reportadas en la literatura son el alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*), algunas especies del género *Canna* (*Canna flaccida* y *Canna hybridis*), las cuales reciben otros nombres comunes (platanillo, paliacate de los pantanos o caña dorada), el ave de paraíso (*Strelitzia reginae*), el anturio (*Anthurium andreanum*) y la hemerocalis (*Hemerocallis dumortieri*) han sido hasta ahora las especies estudiadas. Las eficiencias de remoción de contaminantes en humedales subsuperficiales utilizando plantas de ornato son similares a las eficiencias cuando se utilizan especies pandanales (EPA, 1993a; Brix, 1994; Kadlec y Knight, 1996; Crites y Tchobanoglous, 2000).

Por otra parte existen empresas que ya han iniciado la aplicación comercial de los humedales artificiales plantados con especies ornamentales o estéticas para el tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. Tal es el caso de las empresas Wastewater Gardens localizada en Indonesia (<http://www.idepfoundation.org/wwg/index.html>), Cress Water ubicada en Inglaterra (<http://www.cresswater.co.uk/>), Ecoteric Systems LTD localizada en Inglaterra (<http://www.ecotericsystems.co.uk/contact-ecoteric-systems.html>), entre otras. Sin embargo no se describe cuáles son las etapas de pretratamiento que se utilizan en estos sistemas antes de llegar al humedal para lograr las eficiencias depuradoras reportadas.

Los trabajos citados anteriormente muestran diversos sistemas y/o tecnologías pasivos (proceso de degradación natural de materia orgánica con nulo consumo de energía eléctrica) para el tratamiento de aguas residuales domésticas basado en procesos biológicos como fosas sépticas, lagunas facultativas, filtros anaerobios y en humedales artificiales. Sin embargo, la mayoría de estos sistemas o tecnologías se presentan como un proceso único y aislado de otras operaciones o procesos complementarios, que si bien logran remover materia orgánica y en general contaminantes por sí solos, la calidad del agua tratada no es suficiente para cumplir la normatividad vigente en materia de descarga de aguas residuales en cuerpos de agua y suelo; en el caso de México con la NOM-001-SEMARNAT-1996. Bajo este contexto, nuestra contribución inventiva, **sistema y proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas**; consiste en haber integrado en forma secuencial 3 etapas de tratamiento, cada una con características específicas: Tanque séptico, para eliminación de materia sedimentable y flotante; Filtro anaerobio para degradación de materia orgánica; Humedal artificial de flujo

subsuperficial para eliminación de materia orgánica residual y nutrientes (fosforo y nitrógeno). Este sistema de tratamiento garantiza un efluente de agua tratada que cumple con la normatividad antes citada.

La invención, permite tratar aguas residuales domésticas para poblaciones de hasta 2500 habitantes, por tanto su ámbito de aplicación es principalmente, en comunidades rurales, conjuntos habitacionales, villas, pequeños hoteles, entre otros. Es recomendable, no limitativo, instalar módulos del sistema de tratamiento cada 500 habitantes y e incrementar el número de módulos, conforme sea más grande o aumente la población. Además considera como base de cálculo: una generación promedio de agua residual de 100 litros por habitante por día ($Q=100$ L/hab-d), el cual puede ser de 150 y 75 L/hab-d cuando se trate de una zona urbana y rural, respectivamente. De igual forma, la invención permite tratar agua residual doméstica con las características fisicoquímicas y microbiológicas presentadas en la Tabla 1. Agua residual considerada como de concentración media en materia orgánica por Tchobanoglous y Burton (1991).

Tabla 1. Composición típica de las aguas residuales domésticas de concentración media.

Contaminantes	Símbolo	Unidades	Valor
Sólidos totales	ST	mg/L	720
Sólidos disueltos	SDT	mg/L	500
Sólidos disueltos fijos	SDF	mg/L	300
Sólidos disueltos volátiles	SDV	mg/L	200
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	220
Sóldios suspendidos fijos	SSF	mg/L	55
Sólidos suspendidos volátiles	SSV	mg/L	165
Sólidos sedimentables	SS	mg/mL	10
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO	mg/l	220
Carbono orgánico total	COT	mg/L	160
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/L	500
Nitrógeno total	N-T	mg/L	40
Orgánico	N-Org	mg/L	15
Amoniacal	N-NH ₄ ⁺	mg/L	25
Nitritos	N-NO ₂ ⁻	mg/L	0
Nitratos	N-NO ₃ ⁻	mg/L	0
Fósforo total	P-Tot	mg/L	8
Orgánico	P-Org	mg/L	3
Inorgánico	P-Inorg	mg/L	5
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	50
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/L	30
Alcalinidad (como CaCO ₃)	CO ₃ ⁼	mg/L	100
Grasas	GyA	mg/L	100
Coliformes totales	Col-T	NMP/100 mL	10 ⁷ -10 ⁸



El agua residual doméstica a tratar debe estar libre de sustancias clasificadas como tóxicas tales como los compuestos halogenados, plaguicidas y metales pesados, entre otros; ya que estos compuestos pueden afectar a las funciones de crecimiento y desarrollo de las plantas utilizadas en este sistema, y en consecuencia reducir su eficacia de operación.

5

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Los detalles característicos de la invención se muestran claramente en la siguiente descripción y figuras, las cuales se mencionan a manera de ejemplo y no deben de ser consideradas como limitativas a la presente invención.

10 La figura 1.- Es un diagrama de flujo de la invención.

La figura 2.- Es una representación semiesquemática de vista en planta y vista en corte longitudinal de la primera etapa, correspondiente al tanque séptico que forma parte del **Sistema y proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas.**

15 La figura 3.- Es una representación semiesquemática de vista en planta y vista en corte longitudinal de la segunda etapa, correspondiente al filtro anaerobio que forma parte del **Sistema y proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas.**

20 La figura 4.- Es una representación semiesquemática de vista en planta y vista en corte longitudinal de la tercera etapa, correspondiente al Humedal artificial de flujo subsuperficial que forma parte del **Sistema y proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas.**

MEJOR MÉTODO PARA LLEVAR A CABO LA INVENCION

El sistema y proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas, está constituido por las siguientes etapas:

25 **Etapas 1: Tanque séptico.** Esta etapa consiste de un tanque séptico 1 para la eliminación de materia sedimentable y flotante. Las aguas residuales domésticas provenientes de un conjunto habitacional, una escuela o de una pequeña comunidad, se canalizan al tanque séptico, a través de una tubería de material comercial, por ejemplo PVC (Cloruro de polivinilo) o PP

(Polipropileno). El tanque séptico 1 debe tener de las siguientes características y componentes para su correcto funcionamiento:

- 5
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
- a. *Características del tanque séptico:* El tanque séptico 1 es básicamente un tanque rectangular cerrado que tiene como función, eliminar los sólidos sedimentables (arenas y gravilla) además de eliminar por flotación las grasas y aceites presentes en las aguas residuales domésticas. El Tanque séptico 1 tiene dos cámaras o compartimientos 1.1, 1.2; separadas por una mampara 1.3 e interconectadas por dos dispositivos denominados “T” 1.4 y 1.5 en posición horizontal. Cada cámara 1.1 y 1.2 tiene una tapadera cuadrada 1.6 y 1.7, y un tubo de venteo para la salida de gases 1.8 y 1.9, respectivamente. La primera cámara 1.1 tiene una capacidad de 2/3 del volumen total del tanque séptico 1 y retiene la mayor parte de los sólidos gruesos insolubles y la grasa. La segunda cámara 1.2 tiene una capacidad de 1/3 del volumen total del tanque séptico 1 y elimina los sólidos finos insolubles además hacer la predigestión de la materia orgánica presente en el agua residual. El tanque séptico 1 tiene una entrada que recibe el agua residual 1.10 y una salida 1.11 ubicada en lado opuesto a la llegada del agua residual.
 - b. *Bases de diseño:* El tanque séptico 1 se instala generalmente por debajo del nivel de la superficie del suelo, fabricado en ladrillo o bloque revestido con mortero o en concreto armado. También se puede instalar en el sitio una vez prefabricado el módulo en concreto o en material plástico de alta resistencia. Para el diseño del tanque séptico 1 se considera un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) no mayor a 12 horas (h), ni menor a 2. El TRH promedio recomendado es 6 h, a fin de lograr una eficiencia de remoción de sólidos sedimentables mayor al 75%, grasa y aceites mayor al 50% y al menos 10% de materia orgánica medida como DBO y DQO. El volumen total del tanque séptico 1 (V_t) será igual a suma del volumen de sedimentación (V_{sed}), más el volumen de lodo acumulado (V_{lod}); el V_{sed} será obtenido de multiplicar el TRH por el caudal de agua residual a tratar y el V_{lod} será igual a 1/3 de V_{sed} previamente calculado. Los criterios de diseño para dimensionar el tanque séptico 1 son los siguientes: la relación largo:ancho (L:W) del tanque séptico va de 2:1 hasta 5:1. La relación alto:ancho (H:W) deberá ser mayor a 1, sin embargo la altura nunca será mayor a 3 m. Los tubos de entrada 1.10 y salida 1.11 del agua se ubicaran al nivel de

llegada del agua residual y estarán ahogados a una profundidad de 10 a 15 cm con respecto al nivel del agua 1.12, con una diferencia de 3 cm, el tubo de salida 1.11 con respecto al de entrada 1.10. El diámetro del tubo 1.10 será equivalente al diámetro de conducción o de llegada de agua al tanque 1, sin embargo no mayor a 15.24 cm (6 pulgadas (plg)), y el de salida será de 7.62 a 15.24 cm (3 a 6 plg) según la necesidad del caudal de tratamiento. Los dispositivos “T” 1.4 y 1.5 serán de un diámetro de 10.16 cm (4 plg) y se colocan en forma horizontal a una altura media, el fondo 1.13 del tanque séptico 1 y el nivel del agua 1.12. Las tapaderas removibles 1.6 y 1.7 de cada compartimiento serán de 70x70 cm, y los tubos de venteo 1.8 y 1.9 serán de 7.62 cm (3 plg) de diámetro.

- c. *Limpieza del tanque séptico:* El tanque séptico 1 debe limpiarse una vez cada año, o antes de ser necesario, con la finalidad de evacuar los sólidos (lodo) que depositan en el fondo y evitar reducir su capacidad y eficiencia de operación. Removiendo las tapaderas 1.6 y 1.7 y con la ayuda de una varilla sumergida se podrá verificar la altura del lodo, la cual no debe sobrepasar 1/3 de la altura operacional del tanque séptico 1. La operación de limpieza se puede realizar manualmente o con un sistema “Vactor” en tanques grandes. Los sólidos retirados del tanque séptico 1 se pueden utilizar como abono orgánico en la jardinería una vez que se han estabilizado y secado.

Etapa 2: Filtro anaerobio. Esta etapa del sistema de tratamiento consiste de un filtro anaerobio 2, tal como se mencionó anteriormente, es un proceso anaerobio de tratamiento de biopelícula inmovilizada. El agua residual fluye en dirección ascendente a través de un lecho poroso o material de relleno sumergido; al cual está fijada una biopelícula bajo condiciones anaerobias. Conforme el agua residual pasa a través de este lecho, el agua residual entra en contacto con la biopelícula al medio de soporte o lecho, llevándose a cabo el proceso de degradación anaerobia de la materia orgánica, acompañada por la generación de un biogás rico en metano. El filtro anaerobio 2 debe tener de las siguientes características y componentes para su correcto funcionamiento:

- a. *Características del filtro anaerobio:* El filtro anaerobio 2 es reactor rectangular cerrado integrado de dos compartimientos, el de recepción 2.1 y la cámara de digestión 2.2, dichos compartimientos están separadas por una mampara 2.3 que no toca el fondo del filtro anaerobio; cada compartimiento tiene un tapadera cuadrada 2.4

y 2.5, además la cámara de digestión 2.2 tiene un tubo *cuello ganso* 2.6 para la salida de biogás que genera. La comunicación de ambos compartimientos 2.1 y 2.2 es a través de una abertura rectangular 2.7 cuyas dimensiones son: altura 5% de la altura total de filtro y un largo equivalente a lo ancho de la parte inferior de la mampara 2.3 que separa dichos compartimientos. Este arreglo genera una dirección de flujo ascendente. El agua llega al primer compartimiento 2.1 de recepción y distribución de agua, a través de un tubo ahogado 2.8, para después fluir en forma ascendente a la cámara de digestión 2.2. Esta cámara 2.2 esta rellena a un 90% de su capacidad en volumen con un lecho poroso fijo 2.9 a base de *Tezontle* que provee área de contacto suficiente para la formación de una biopelícula que interactuará con el agua residual que fluye. El *Tezontle* es soportado por medio de un fondo falso 2.10. El efluente del filtro anaerobio 2 es recuperado por la parte superior a través de un tubo 2.11 captador del agua, coloquialmente llamado *flauta*, que se ubica en la parte superior y del extremo contrario a la entrada del agua de la cámara de digestión 2.2. El tubo o *flauta* 2.11 está tapado en los extremos, es de longitud equivalente al ancho de lo que mide la cámara de digestión 2.2, cuenta con perforaciones 2.12 de 2.54 cm (1 plg) de diámetro cada 20 cm y se ubican por un costado del tubo 2.11 y al nivel del agua 2.13 de la cámara de digestión 2.2, lo cual garantiza que al recuperar el agua no capte, en lo posible, las natas y espumas que se forman sobre el nivel del agua 2.13 de la cámara de digestión 2.2. A la mitad del tubo se coloca una "T" 2.14 que permitirá la salida 2.15 y conducción del agua al humedal 3. El fondo 2.16 del filtro anaerobio 2 tiene una pendiente del 3% que converge al centro de la cámara 2.2, lo cual facilita la evacuación del lodo.

El Filtro anaerobio cuenta con pozo de visita 2.17 para monitorear la cámara de digestión 2.2 y que facilita la purga de exceso de lodo, el pozo 2.17 se ubica a un costado del filtro anaerobio 2 y a un distancia media de la cámara de digestión 2.2. Este pozo 2.17 no contiene agua y está interconectado con la cámara de digestión 2.2 por medio de cuatro tubos comunicantes 2.18, 2.19, 2.20 y 2.21 a diferentes alturas y sus válvulas correspondientes. El primer tubo 2.18 (de abajo hacia arriba) de mayor diámetro de 5.08 a 7.62 cm (2 a 3 plg) sirve para purga de exceso de lodos, el segundo tubo 2.19 para monitoreo del nivel lodo y el tercer 2.20 y el cuarto tubo 2.21 para

muestreo del agua residual. Los tubos 2.19, 2.20 y 2.21 tienen un diámetro de 2.54 cm (1 plg).

- 5 a. *Bases de diseño:* El Filtro anaerobio 2 se instala generalmente por debajo del nivel de la superficie del suelo, fabricado en ladrillo o bloque revestido con mortero o en concreto armado. El diseño del filtro anaerobio 2 se hace, considerando básicamente la cámara de digestión 2.2, un TRH de 24 h o cargas orgánicas dentro de un intervalo de 2 a 10 kgDQO/m³-d, valores calculados a partir del volumen efectivo de la cámara de digestión 2.2. Esta base de diseño garantiza una eficiencia de remoción de DBO y DQO del filtro anaerobio 2 del 70 al 80%. El volumen efectivo de la cámara de digestión 2.2 es del 65% del volumen total de la misma cámara 2.2, el 35% restante es el volumen que ocupa el lecho poroso 2.9 o material del relleno (*Tezontle*). Los criterios para dimensionar la cámara de digestión 2.2 son los siguientes: la relación L:W va de 2:1 hasta 3:1. La relación H:W deberá ser igual o mayor a 1.5, sin embargo la altura nunca será mayor a 3m. El primer compartimiento de recepción 2.1 del filtro anaerobio 2 tiene un ancho de 70cm y una longitud equivalente al ancho de la cámara de digestión 2.2. Las tapaderas removibles 2.4 y 2.5 de cada compartimiento respectivamente serán de 70x70cm y el tubo de venteo *cuello de ganso* 2.6 serán de 5.08 cm (2 plg) de diámetro y una altura mínima de 2 m en material de PVC, para evitar la corrosión del biogás.
- 10
- 15
- 20 b. *El pozo de visita:* el pozo de visita 2.17 se diseña con una dimensión de LxW de 0.8x0.8 m que facilita la entrada de una persona y una profundidad equivalente a la altura del filtro anaerobio 2, con 30 cm más de profundidad. El pozo 2.17 tiene también una tapadera removible 2.22. Como se comentó anteriormente, la extracción de lodos es a través del tubo 2.18 de 5.08 o 7.62 cm (2 o 3 plg) de diámetro, colocado justo por encima del fondo 2.16 del filtro anaerobio 2. El segundo tubo 2.19 (de abajo hacia arriba) se colocará 10 cm por arriba del fondo falso 2.10; el tercer tubo 2.20 se colocará en la parte media de lo que es la altura del material de relleno 2.9 (*Tezontle*) y finalmente el cuarto tubo 2.21 se colocará 10 cm antes del límite de la altura del material de relleno 2.9.
- 25

- d. *Lecho poroso o material de relleno*: El lecho poroso **2.9** que sirve de medio de soporte de la biopelícula es a base de *Tezontle* (piedra de origen volcánico y de gran abundancia en México), el cual presenta una alta porosidad y en consecuencia una alta superficie específica de contacto. Este material presenta un volumen de vacíos del 65% (porosidad intersticial de 0.65), el resto es material sólido; así el volumen efectivo de la cámara de digestión **2.2** siempre será menor a su volumen total. El *Tezontle* deberá tener un tamaño de partícula de 2.54 a 3.81 cm (1.0 a 1.5 plg), sin embargo primero se colocará, por encima del fondo falso **2.10**, una capa **2.23** de 20 cm de espesor de *Tezontle* con diámetro de partícula de 2.5 cm para lograr una mejor distribución ascendente del agua y evitar que el *Tezontle* de menor tamaño se cuele por los claros del fondo falso **2.10**.
- e. *Fondo falso del filtro*: El material de relleno o lecho poroso **2.9** va colocado sobre el fondo falso **2.10** a base de placas de concreto colocadas transversalmente al flujo del agua y con perforaciones **2.24** en forma de cono truncado (parte inferior y superior 5.08 y 6.35 cm (2 y 2.5 plg) respectivamente), las perforaciones **2.24** están espaciadas cada 5.08 cm (2 plg), lo cual permite una distribución uniforme del agua. El fondo falso **2.10** en cámaras de digestión **2.2** pequeñas (volúmenes efectivos menores o iguales 10 m³) pueden ser reemplazado por rejilla tipo Irving con claros de 2.54 cm (1 plg). El fondo falso **2.10** se coloca 15 cm sobre el nivel del fondo real **2.16** del filtro anaerobio **2** y soportado sobre zapatas de concreto de igual altura.
- f. *Inoculación del filtro anaerobio*: La inoculación del filtro anaerobio **2** se realiza agregando directamente a la cámara de digestión **2.2**, por la tapadera removible **2.5**, un volumen de lodos anaerobios equivalente al 15% del volumen efectivo de la cámara de digestión **2.2**. Los lodos deberán proceder de una planta de tratamiento de aguas residuales estabilizada de tipo anaerobia, con una concentración mínima en Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) del 1%. La etapa de adaptación y crecimiento de la biopelícula tarda aproximadamente de 6 a 8 semanas, después de este tiempo se logra la estabilización del filtro anaerobio **2**.
- g. *Purga de lodos*: La purga de lodo se realiza de forma intermitente, cada 6 meses o bien cuando el nivel del lodo en suspensión alcanza el nivel o altura del tubo



comunicante **2.19**, la acción de purga se realiza a través del ~~primer tubo comunicante~~ **2.18** de 5.08 o 7.62 cm (2 o 3 plg), ubicado a un costado de la cámara de digestión **2.2** y en el fondo del pozo de visita **2.17** de purga de lodos de exceso. La purga de lodos de exceso se realiza por bombeo o con un sistema “Vactor” cuando se trata de filtros anaerobios **2** grandes. Los lodos de exceso retirados se pueden utilizar como abonos orgánicos en la jardinería una vez estabilizados y secos.

Etapas 3: Humedal artificial de flujo subsuperficial. Una vez que las aguas residuales salen de la etapa de filtración anaerobia **2**, el agua tratada resultante se conduce a través de una tubería de PVC o PP a un humedal de flujo subsuperficial **3**. El humedal **3** es un contenedor de agua de escasa profundidad y que utiliza *Tezontle* como material de relleno **3.1**, en cual se retiene el agua por un tiempo determinado; en la superficie del humedal se hacen crecer plantas acuáticas **3.2**. Este humedal será la jardinera decorativa que se propone en el sistema. La forma del humedal subsuperficial **3** (jardinera) puede ser variante, siempre y cuando se cumplan con los TRH suficientes sugeridos en los criterios de diseño e instalación; además de establecer un régimen de flujo subsuperficial, siendo un detalle importante de la presente invención para remover los contaminantes. EL humedal artificial **3** debe tener de las siguientes características y componentes para su correcto funcionamiento:

- a. *Características y base de diseño del humedal:* La relación de dimensiones del humedal debe ser $L:W \geq 2$ y una profundidad de 60 cm. La entrada **3.3** del agua es por la parte superior de un extremo y la salida **3.4** es por la parte inferior del extremo opuesto. El nivel o altura del agua **3.5** debe estar 1 cm por debajo de la altura del material de relleno **3.1** *Tezontle*, evitando que se tenga un espejo de agua; lo cual garantiza que plantas sembradas puedan enraizar y asimilar la mayor parte de contaminantes presentes en el agua y crecer sin problema alguno, por otro lado se evita la proliferación de insectos. Un TRH promedio de 3 días es suficiente para lograr una remoción de por lo menos 60% de materia orgánica y nutrientes (fósforo y nitrógeno) con respecto a los valores de calidad del agua a la entrada **3.3** del humedal; el TRH se debe aumentar y disminuir en un día en función de la concentración de materia orgánica presente en el agua. Las pendientes **3.6** (taludes) del humedal y que sirven para contener el agua deben tener una inclinación de 45° con respecto a la horizontal (suelo).

En el fondo del humedal 3 y en las pendientes 3.6 del humedal se coloca una membrana plástica impermeable 3.7 (geomembrana) de ~~aproximadamente 1 mm de~~ espesor elaborada en polipropileno de alta densidad (HDPP), la cual es resistente a la abrasión y al contacto con las aguas residuales domésticas, dicha membrana impermeable tiene la función de evitar la infiltración del agua al suelo y contaminación de los mantos freáticos con las aguas residuales.

Otra forma de construir el humedal y proteger el suelo y mantos acuíferos por la infiltración del agua en tratamiento, es creando barreras de protección a base de mampostería o con estructuras de concreto prefabricadas, en este caso se recomienda que el piso sea también concreto.

- a. *Material de Relleno del humedal:* En esta invención se utiliza *Tezontle* como material de relleno 3.1 del humedal, el cual es muy abundante en la parte central de México. Como lo explica Zurita y col. (2006), el *Tezontle* es una roca ígnea, volcánica y extrusiva; además es un material altamente poroso y en consecuencia tiene una área superficial específica grande en comparación con la grava y arena que regularmente se utilizan como lecho o material de relleno en los humedales; su porosidad le da capacidad de adsorción e de intercambio iónico. Así mismo, el *Tezontle* presenta un alto contenido de sales minerales, propiedades ideales para la captura de nutrientes. Igualmente este material ayuda a la fijación de las raíces de las plantas 3.2 utilizadas. Para asegurar el buen funcionamiento del sistema, se deben utilizar partículas de *Tezontle* de 2.54 a 3.81 cm (1 a 1.5 plg) de diámetro como material de relleno 3.1 cubriendo una altura de 50 cm.

Geotextil y Sustrato para las plantas del humedal: Con la finalidad de mejorar las condiciones de crecimiento y desarrollo de las plantas 3.2 en el humedal 3 y evitar la salida de malos olores del sistema, el material de relleno 3.1 del humedal 3 a base de *Tezontle* se cubre con un material o malla sintética conocida coloquialmente como geotextil 3.8, el cual debe fijarse bien en las orillas a fin de evitar canalizaciones. Sobre toda la superficie del geotextil 3.8 se coloca una capa 3.9 de 10 cm aproximadamente de sustrato a base *Tezontle*, pero en este caso con un diámetro de partícula fina, no mayor de 1.27 cm (½ plg). El *Tezontle* como sustrato 3.9 puede ser

reemplazado por *Loam* con diámetro de partícula también menor a 1.27 cm ($\frac{1}{2}$ plg). El

Loam es una roca sedimentaria detrítica pastosa, de granos sueltos, con proporción equilibrada de partículas de arena, limo y arcilla. Por su textura, los suelos de *Loam* son bastante impermeables y retienen fácilmente el agua, en consecuencia contienen más nutrientes que los suelos simplemente arenosos. En esta invención, no se recomienda usar composta o cualquier otro sustrato orgánico ya que éstos últimos contienen altas cantidades de nutrientes y de sustancias húmicas, que en determinado tiempo, emigran al interior del humedal 3 ocasionando un incremento considerable en la concentración de nutrientes en las aguas residuales tratadas.

- 5
- 10 d. *Distribución de las aguas residuales en el humedal*: Las aguas residuales se vierten y se distribuyen a lo ancho del humedal 3 a través de un tubo perforado o *flauta* 3.10 de PVC o PP de 7.62 o 10.16 cm (3 o 4 plg) de diámetro que se instala en la parte inicial y superior del humedal a 20 cm sobre el nivel de suelo. La *flauta* 3.10 tiene perforaciones 3.11 a un costado, de 1.27 cm ($\frac{1}{2}$ plg) cada una y distanciadas cada 30
- 15 cm una de la otra, orientadas en sentido al flujo del agua del humedal; la *flauta* 3.10 tiene un dispositivo “T” 3.12 a la mitad de su longitud por donde llega el efluente del filtro anaerobio 2. El diseño de la *flauta* 3.10 asegura que el agua caiga en cascada y retome oxígeno atmosférico contribuyendo notablemente al proceso de nitrificación durante el tratamiento del agua en el humedal 3.
- 20 e. *Recuperación de las aguas*: La recuperación del agua tratada se realiza a través de otra *flauta* 3.13 con las mismas características que la *flauta* 3.10 de distribución de agua, sólo que segunda *flauta* 3.13 se coloca en la parte baja del extremo opuesto de la entrada al humedal 3 con los orificios 3.14 orientados en sentido contrario al flujo de agua. La *flauta* 3.13 se coloca en el fondo del humedal 3 a fin de forzar a que el flujo
- 25 de agua atravesase el material de relleno 3.1 a base de *Tezontle*, además de atravesar la capa de sustrato 3.9, logrando un régimen del flujo de agua subsuperficial en el humedal 3. La *flauta* 3.13 cuenta también con un dispositivo 3.15 en forma de “T” que permite la evacuación del agua del humedal.
- 30 f. *Plantación en el humedal*: Las plantas elegidas 3.2 para el humedal 3 se siembran a la profundidad equivalente a la capa 3.9 del sustrato fino a base de *Tezontle* o *Loam*,

el cual se encuentra soportado sobre el geotextil 3.8. La plantación se realiza con una densidad de 3 unidades por m² en forma de *zigzag*, de tal forma que las corrientes de flujo de agua en el humedal 3 no generen canalizaciones y zonas muertas. Después de dos o tres meses, sobre la capa de sustrato fino 3.9 crecen paulatinamente los rizomas (raíces) de las plantas ornamentales 3.2, atravesando el geotextil 3.8 y enraizándose en la profundidad del material del relleno 3.1 a base de *Tezontle*. Las especies de plantas que se han probado con esta invención son el alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*), algunas especies del género *Canna* (*Canna flaccida* y *Canna hybridis*), las cuales reciben otros nombres comunes (platanillo paliacate de los pantanos, o caña dorada) y ave de paraíso (*Strelitzia reginae*), obteniendo los resultados aquí reportados.

g. *Mantenimiento del humedal:* El mantenimiento del humedal 3 consiste en retirar follaje y flor. Debido a la cantidad de agua retenida por las plantas 3.2 y a las temperaturas promedio propias de los climas tropicales y subtropicales, más del 20% del agua se pierde por evapotranspiración. Por tanto, para mantener la producción continua de hoja y flor en el humedal 3 es necesario retirar periódicamente tanto la hoja como la flor que se produce a fin de controlar el volumen del follaje y evitar la contaminación nuevamente del agua. La velocidad de producción de flor y hojas depende de varios factores tales como: la temperatura del ambiente, días y horas de sol, concentración de nutrientes en el agua, etc. Por lo que no se puede establecer un periodo de frecuencia con la que se deba realizar la poda de flores y hojas del humedal. Sin embargo, como criterio general se debe evitar el exceso de población de plantas 3.2 dentro del humedal 3 a fin de mantener un claro de aproximadamente 5 a 10 cm entre el follaje de las plantas 3.2.

h. *Pozo nivelador del nivel agua en el humedal.* El efluente del humedal es conducido por medio de un tubo 3.16 de PVC a un pozo 3.17 de forma circular o rectangular cuyas dimensiones LxWxH son 60x60x70 cm. En el interior del pozo 3.17, el tubo 3.16 se orienta verticalmente por medio de un codo 3.18, en la parte final del tubo 3.16, se adapta un *cople* 3.19 ajustable que permite establecer el nivel 3.5 exacto de agua en el humedal 3, por vertimiento o salida del agua tratada. Finalmente, el pozo

3.17 tiene un tubo 3.20 de evacuación del agua tratada con un diámetro mayor o igual a 10.16 cm (4 plg) y una altura de 30 cm sobre el fondo del pozo 3.17.

La desinfección del agua se realiza en el mismo pozo regulador de nivel 3.17, aplicando hipoclorito de sodio (NaClO), con dosis de cloro de 3 a 5 mg/L de agua tratada y que garanticen un cloro libre de 0.5 mg/L de agua después de 30 minutos de reacción o contacto. Es necesario aclarar que se puede instalar un tanque de desinfección en seguida del pozo regulador de nivel 3.17, el cual puede funcionar también como tanque de almacenamiento; su instalación es opcional y dependerá del aprovechamiento que se le quiera dar al agua tratada; sin embargo, por su simpleza en el diseño, adquisición, instalación y operación, no se considera como parte de esta innovación.

El proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas funciona en régimen de flujo continuo y por gravedad de la manera siguiente: el agua residual domestica de un conjunto habitacional, una escuela o de una pequeña comunidad es conducida a través de un tubo de PVC o PP a la entrada 1.10 del tanque séptico 1. El flujo de agua pasa del compartimiento 1.1 al compartimiento 1.2 a través de los dispositivos “T” 1.4 y 1.5. Después que el agua permanece en el tanque séptico 1 un TRH de 6 h y alcanza el nivel 1.12, el flujo de agua sale por 1.11. En seguida, el agua fluye por gravedad al filtro anaerobio 2, descargando en el compartimiento 2.1 a través del tubo de entrada 2.8 (prolongación del tubo 1.11); luego el agua pasa a la cámara de digestión 2.2 por una la abertura rectangular 2.7, ubicada justo por debajo de la mampara 2.3 que separa los compartimientos 2.1 y 2.2. El agua residual es distribuida uniformemente en sentido ascendente a la cámara de digestión 2.3, gracias al diseño de la mampara 2.3 y del fondo falso 2.10, atravesando el lecho poroso o material de relleno 2.9; al mismo tiempo, el agua residual entra en contacto con la biopelícula inmovilizada que se forma sobre el lecho poroso 2.9 una vez que el filtro anaerobio 2 está estabilizado. El efluente del filtro anaerobio 2 es recuperado por la parte superior a través del tubo 2.11, que se ubica en la parte superior y del extremo contrario a la entrada del agua de la cámara de digestión 2.2.

Es importante señalar que la estabilización del filtro anaerobio 2 se consigue de 6 a 8 semanas después de haber realizado el arranque y la inoculación del mismo, de acuerdo a las indicaciones del apartado *Inoculación del filtro anaerobio*; tiempo que tarda la etapa de



adaptación y crecimiento de la biopelícula. Posterior a este tiempo, las eficiencias de remoción de DBO y DQO se hacen constantes dentro de un intervalo de 70 a 80%, así mismo hay una tasa de producción constante de biogás y proporcional a la remoción de DQO; estas condiciones denotan la estabilización del filtro anaerobio.

- 5 La purga de exceso de lodo en el filtro anaerobio 2, se realiza conforme a lo descrito en la etapa 2 inciso g, *Purga de lodos*. Asimismo, el biogás generado en la cámara de digestión 2.2 es evacuado por el tubo *cuello de ganso* 2.6 para ser llevado a combustión.

Una vez que el flujo de agua sale del filtro anaerobio 2, es conducido a través del tubo 3.3 (continuación del tubo de salida 2.15 del filtro anaerobio 2) al tratamiento final con el humedal 3. El Tubo o *Flauta* 3.10 distribuye uniformemente el agua sobre y a lo ancho del humedal 3. El flujo de agua conforme avanza horizontalmente, atraviesa el espesor del sustrato 3.9, el geotextil 3.8 y el material de relleno 3.1 del humedal 3. La recuperación del agua tratada se realiza a través de la *flauta* 3.13 colocada en la parte más baja del extremo opuesto a la entrada 3.3, logrando así un régimen del flujo de agua subsuperficial en el humedal 3. El tiempo de RTH igual a tres días del agua en el humedal 3 una vez estabilizado, es suficiente para que el sustrato 3.9, material de relleno 3.1 y las plantas 3.2 remuevan la materia orgánica residual del filtro anaerobio 2 y los nutrientes (fósforo y nitrógeno) presentes en el agua. El efluente del humedal 3 es conducido a través del tubo 3.16 y descargado al pozo 3.17 al nivel del *cople* 3.19. Finalmente, el agua es clorada en el pozo 3,17 con dosificaciones de cloro de 3 a 5 mg/L de agua tratada; así el agua tratada es evacuada a través del tubo 3.20, óptima para uso en riego agrícola y en áreas verdes.

Es necesario remarcar que la estabilización del humedal 3 se logra dentro de un intervalo de tiempo de 10 a 12 semanas. Después de este periodo, se logran eficiencias constantes de remoción de materia orgánica, medida como DQO o DBO y de nutrientes (fósforo y Nitrógeno) presentes en las aguas residuales, obteniéndose de esta forma las eficiencias de remoción reportadas en la tabla 2. El *mantenimiento del humedal* se hace conforme a lo señalado en la etapa 3, inciso g.

EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LA INVENCION

30 El Sistema y proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas es ilustrado por medio de un ejemplo específico que a continuación se describe, el cual se presenta con propósitos meramente ilustrativos, pero no limitativos del mismo.



Se probó a nivel piloto la invención, con las etapas y características de tratamiento que se detallan en la misma. La capacidad de tratamiento del proceso fue $5 \text{ m}^3/\text{día}$ en régimen continuo, el tiempo de operación del proceso de tratamiento fue de 6 meses, el agua residual utilizada era de características reales y generada en los servicios de sanitarios y comedor de la empresa “Distribuidora de Percolados de Jalisco SA de CV”, ubicada en Ixtlahucán de los Membrillos, Jalisco, México. Los resultados obtenidos antes y después de la aplicación de nuestra invención están presentados en la siguiente tabla 2:

Tabla 2. Calidad de agua después de cada etapa del sistema de tratamiento

Contaminante	Agua Residual cruda	Salida del tanque séptico	Salida del filtro anaerobio	Salida del humedal	NOM-001-SEMARNAT -1996
pH	7.9	7.3	7.6	7.9	5-10
DBO, mg/L	390.0	322.5	81.0	20.7	200
DQO, mg/L	650.0	582.5	154.3	36.3	--
SS, mL/L	4.0	1.0	0.5	0.0	2
SST, mg/L	379.0	316.0	96.0	16.0	125
GyA, mg/L	60.0	26.0	10.0	3.0	25
N-T, mg/L	40.0	37.0	27.5	12.4	60
P-T, mg/L	22.0	22.0	8.0	3.2	30
Coliformes Totales, NMP/100 mL	10^7	1.6×10^5	1.6×10^4	$<1.6 \times 10^4$	--
Coliformes Fecales, NMP/100 mL	10^6	3.0×10^3	1.4×10^3	2.2×10^2	2×10^3

10

REFERENCIAS

Austin D.C. Maciolek D.J., Rob Von Rohr J. (2004) Integrated hydroponic and wetland wastewater treatment system and associated methods. *United States Patent No. US 6,830,688 B2*. Date of patent: December 14, 2004.

15 Belmont M.A., Metcalfe C.D. (2003) Feasibility of using ornamental plants (*Zantedeschia aethiopica*) in subsurface flow treatment wetlands to remove nitrogen, chemical oxygen demand and nonylphenol ethoxylate surfactants-a laboratory-scale study, *Ecological Engineering*, 21(2003): 233–247.

20 Belmont M.A., Cantellano E., Thompson S., Williamson M., Sánchez A, Metcalfe C. (2004) Treatment of domestic wastewater in a pilot-scale natural treatment system in Central Mexico, *Ecological Engineering*, 23: 299-311.

Brix H. (1994) Use of constructed wetlands in water pollution control: historical development, present status, and future perspectives. *Water Science and Technology*, 30(8): 209-223.

Celis-Hidalgo J., Sandoval-Estrada M., Briones-Luengo M. (2005) Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas, *Theoria*, 14(1): 17-25.

5 Coleman J., Hench K., Garbutt K., Sexstone A., Bissonnette G., Skousen J. (2001) Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetlands. *Water Air and Soil Pollution*, Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. 128: 283–295.

Cress Water (<http://www.cresswater.co.uk/>); visitada en noviembre 2009.

10 Crites R, Tchobanoglous G (2000) *Sistemas de manejo de aguas residuales, para núcleos pequeños y descentralizados*. Vol II. McGraw-Hill Inc., Colombia.

Coulibaly L., Kouakou J., Savané I., Gourène G. (2008) Domestic wastewater treatment with a vertical completely drained pilot scale constructed wetland planted with *Amaranthus hybridus*, *African Journal of Biotechnology*, 7 (15): 2656-2664.

15 Ecoteric Systems LTD (<http://www.ecotericsystems.co.uk/contact-ecoteric-systems.html>), visitada en Noviembre 2009.

Eifert W. (1999) Enhanced subsurface flow constructed wetland. *United States Patent Nr.: US 5,893,975*. Date of Patent: April 13, 1999.

20 EPA (1993a) Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Technology Assessment. EPA 832-R-93-008, *United States Environmental Protection Agency*, Office of Water, Washington, DC. 87 pp.

EPA (1993b) Constructed wetlands for waste water treatment and wildlife habitat, 17 case studies, *United States Environmental Protection Agency*, EPA832-R-93-005.

25 EPA (1999a) Toxicity reduction evaluation guidance for municipal wastewater treatment plants. Office of Wastewater Management, *United States Environmental Protection Agency*, Office of Water, Washington D. C. 54 pp.

EPA (1999b) Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Zanjas de oxidación. EPA 832-F-00-013, *United States Environmental Protection Agency*, Washington, D. C. 9 pp.

30 EPA (1999c) Decentralized systems technology fact sheet. Septic tank - Soil absorption systems. Technical report EPA 932-F-99-075, *United States Environmental Protection Agency*, Office of Water, Washington, D. C., 8 pp.



EPA (2004) Review of rapid assessment methods for assessing wetland condition, United States Environmental Protection Agency. Report Nr. EPA/620/R-04/009, *United States Environmental Protection Agency*, Office of Water, Washington D. C. 82 pp.

EPD (2002) Water Protection Branch. Engineering & Technical Support Program. Guidelines for Constructed Wetlands for Municipal Wastewater Facilities, *Environmental Protection Division*, Georgia, St. United States of America.

Fisher J., Acreman M.C. (2004) Wetland nutrient removal: a review of the evidence, *Hydrology and Earth Sciences*, 8(4):637-685.

Flowers D.A. (2002) Process and system for enhanced nitrogen removal in a water wetland wastewater treatment facility. *United State Patent No. US 6,447,682 B1*. Date of Patent: September 10, 2002.

Gelt J. (1997) Constructed Wetlands: Using Human Ingenuity, Natural Processes to Treat Water, Build Habitat. Arroyo 9(4). Consultado el 2 de noviembre del 2008. Disponible en: <http://ag.arizona.edu/AZWATER/arroyo/094wet.html>

Hickey Ch.W., Quinn J.M., Davis-Colley R.J. (1989) Effluent characteristics of domestic sewage oxidation ponds and their potential impacts on rivers, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research abstracts*, 23, 585-600.

Huang J. Renau R.B. Jr., Hagedorn C. (2000) Nitrogen removal in constructed wetlands employed to treat domestic wastewater, *Water Research*, 34: 2582-2588.

Jantrania AR (2000) Wastewater Treatment in the 21st Century: Technology, Operation, Management, and Regulatory Issues. *Journal of Environmental Health*. Consultado el 4 de enero del 2009. Disponible en:

http://findarticles.com/p/articles/mi_hb6679/is_2_63/ai_n28791877/pg_3

Kadlec R.H., Knight R.L. (1996) *Treatment Wetlands*, Lewis Publishers. 893 pp.

Kangas P.C. (2003) *Ecological Engineering: Principles and Practices*. Lewis Publishers. 472 pp.

Khanal S. (2008) *Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production: Principles and Applications*. Ed. Wiley-Blackwell. 301 pp.

Kivaisi A.K. (2001) The potential for constructed wetlands for wastewater treatment in and reuse developing countries: a review, *Ecological Engineering*, 15: 445-560.

Lesikar B. (1999) On-site wastewater treatment systems. Septic tank/soil absorption field. Extension Agricultural Engineering Specialist. The Texas A&M University System. USA.

4 pp.

Lettinga G., Man A., Van der Last A.R.M., Wiegant W., Van Knippenberg K., Frijns J., Van Buuren J.C.L. (1993) Anaerobic Treatment of Domestic Sewage and Wastewater, *Water Science and Technology*, 27: 67–73.

Lihua C. (2005) Method for treating home wastewater through artificial wetland combined vertical current with surface current. South China Agriculture University. China, *International Patent: C02F3/32. Publication Number: CN1686868*, Fecha de publicación: 26/10/2005.

Lovera D., Quipuzco L., Laureano G., Becerra C., Valencia N.D. (2006) Adaptación de un sistema de tratamiento o de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba, región Ancash - Perú, usando tecnologías de humedales artificiales. Rev. Inst. investig. Fac. minas metal cienc. geogr. 9(18): 32-43. Consultado el 30 de diciembre de 2008. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-08882006000200004&lng=es&nrm=iso

Luna-Pabello V.M., Durán-Domínguez de Bazúa M.C. (2002) Humedales artificiales de flujo horizontal o vertical, *Patente MX 210924*, Fecha de concesión 21/10/2002. México.

Mara D.D. (2004) Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries. Published by James & James/Earthscan in association with WWF-UK and the International Institute for Environment Development. 256 pp.

Mara D.D. (2008) Waste Stabilization Ponds: A Highly Appropriate Wastewater Treatment Technology for Mediterranean Countries. In: *Efficient Management of Wastewater*. Springer Berlin Heidelberg. p 113-123.

Morel A, Diener S (2006) Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods, *Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag)*, Dübendorf, Switzerland.

Nguyen V.A., Pham N.G., Nguyen T.H., Morel A., Tonderski K. (2007) Improved septic tank with constructed wetland, a promising decentralized wastewater treatment alternative in Vietnam. In: *Proceedings of the 2007 IWA – NOWRA international conference*. March 2007, Baltimore, Maryland. United States of America. 17 p.

NOM-001 SEMARNAT 1996, Norma Oficial Mexicana (NOM), que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, Publicada en el Diario Oficial de la Federación, 24 de junio de 1996.

NOM-003 SEMARNAT 1997, Norma Oficial Mexicana (NOM), que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, Publicada en el Diario Oficial de la Federación, 21 de septiembre de 1998

NOM-003 SEMARNAT 2002, Norma Oficial Mexicana (NOM), Protección ambiental, Lodos y biosólidos: especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y su disposición final, Publicada en el Diario Oficial de la Federación, 18 de febrero de 2002-

Peña-Varón M., Mara D. (2004) Waste Stabilization Ponds, IRC International Water and Sanitation Centre.

Ramalho R.S. (1993) Tratamiento de aguas residuales, Reverte, Barcelona España, 715pp

Reed S.C., Crites R.W., Middlebrooks E.J. (1995) Natural Systems for Waste Management and Treatment. Blacklick, Ohio, U.S.A. McGraw-Hill., 2nd Edition. (ISBN: 0070609829). 433 pp.

Rivera-Ballesteros G.C. (1998). Evaluación del tratamiento del agua residual doméstica en un sistema integrado: un caso con tanque séptico, filtro anaerobio y filtro fitopedológico. Santiago de Cali, Colombia, Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. Consultado el 29 de diciembre de 2008. Disponible en: <http://www.irc.nl/docsearch/title/154528>

Tousignant E., Frankhauser O., Hurd S. (1999) Guidance manual for the design, construction and operations of constructed wetlands for rural applications in Ontario, Funded by the Canadapt Program of the Agricultural Adaptation Council, Ontario. Prepared in Cooperation by: Stantec Consulting Ltd. Research and Technology Transfer Group, Alfred College (University of Guelph), and South Nation Conservation. 164 pp.

Tchobanoglous G., Burton F.L. (1991) Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, and Reuse. 3th Edition. McGraw-Hill, Inc. New York. USA. 1334 pp.

Wallace S.D. (1998) Method and apparatus for biological treatment of waste water, *International Patent Classification C02F 3/30, 3/32*, International Publication Number: WO 98/58881. International publication date: December 30, 1998.

Wallace S.D. (2005). Engineered Wetlands: Effective Cold Climate WW Treatment.
Environmental Protection Magazine, February 2005.

Wastewater Gardens®: (<http://www.idepfoundation.org/wwg/index.html>), Visitada en
Noviembre 2009.

5 Whitehill T.J. (2003) Wastewater treatment system for small flow applications. *United States
Patent No.:* US 6,531,062 B1. Date of Patent: March 11, 2003.

WHO (2006) Water Sanitation and Health (WSH). World Health Organization. Disponible en:
http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diseasefact/en/

10 Zhang L., Hong S., Wen Ch., Mao X., Liu A., Gan F. (2009) A novel combined system for
onsite domestic wastewater treatment in rural areas, *Environmental Engineering Science*,
26(0): 8 p. Consultado el 29 de diciembre de 2008. Disponible en:
<http://www.liebertonline.com/doi/abs/10.1089/ees.2008.0099>

15 Zdragas A., Zalidis G.C., Takavakoglou V., Katsavouni S., Anastasiadis E.T., Eskridge K.,
Panoras A. (2002) The effect of environmental conditions on the ability of a constructed
wetland to disinfect municipal wastewaters. *Environmental Management*. Springer-Verlag
New York Inc. 29(4):510–515.

Zurita F., De Anda J., Belmont M.A. (2006) Performance of laboratory-scale wetlands planted
with tropical ornamental plants to treat domestic wastewater. *Water Qual. Res. J. Canada*,
41(4): 410–417.

20 Zurita F., Belmont M.A., De Anda J., White J.R. (2010) Seeking a Way to Promote the Use of
Constructed Wetlands for Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries,
Water Science & Technology, Accepted; Reference No: WST-WSTWS-EM10279R2

REIVINDICACIONES

Después de haber descrito lo suficiente la invención, considero de exclusiva propiedad lo contenido en las siguientes cláusulas:

- 5 1. Un sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas, caracterizado porque comprende:
 - 10 a. un tanque séptico 1, que tiene: dos cámaras o compartimientos, una primera cámara 1.1 con una capacidad de 2/3 del volumen total del tanque séptico 1, que retiene la mayor parte de los sólidos gruesos insolubles y la grasa; y una segunda cámara 1.2 con una capacidad de 1/3 del volumen total del tanque séptico 1, que elimina los sólidos finos insolubles y que hace la predigestión de la materia orgánica presente en el agua residual; una mampara 1.3 que separa las cámaras 1.1 y 1.2; dos dispositivos denominados "T" 1.4 y 1.5 en posición horizontal que interconectan las cámaras 1.1 y 1.2, y que se colocan en forma horizontal a una altura media del fondo 1.13, del tanque séptico 1 y del nivel del agua 1.12; cada cámara 1.1 y 1.2 tiene una tapadera cuadrada 1.6 y 1.7, y un tubo de venteo 1.8 y 1.9 respectivamente para la salida de gases; el tanque séptico 1 tiene además una entrada 1.10 que recibe el agua residual y una salida 1.11 ubicada en lado opuesto a la llegada del agua residual;
 - 15 b. un filtro anaerobio 2, que comprende: un compartimiento de recepción y distribución de agua 2.1, y una cámara de digestión 2.2; una mampara 2.3 que no toca el fondo del filtro anaerobio y que separa dichos compartimientos 2.1 y 2.2; cada compartimiento tiene una tapadera cuadrada 2.4 y 2.5; teniendo además la cámara de digestión 2.2 un tubo *cuello ganso* 2.6 para la salida del biogás que se genera; una abertura rectangular 2.7 que comunica los compartimientos 2.1 y 2.2; un tubo ahogado 2.8 que es una prolongación de la salida 1.11, para conducir el agua al compartimiento 2.1; un lecho poroso 2.9 a base de *Tezontle* que se encuentra en la cámara de digestión 2.2 y que provee área de contacto suficiente para la formación de una biopelícula que entra en contacto con el agua residual que fluye; un fondo falso 2.10 a base de placas de concreto colocadas transversalmente al flujo del agua y con perforaciones 2.24 en forma de cono truncado respectivamente, dicho fondo falso soporta al lecho poroso 2.9 y a una primera capa 2.23 de *Tezontle* con diámetro de partícula mayor con
20
25
30

respecto al diámetro de la partícula del lecho poroso **2.9** para evitar que el *tezontle* de menor tamaño se cuele por los claros del fondo falso **2.10**; en la parte superior y en el extremo contrario a la entrada del agua de la cámara de digestión **2.2** se tiene un tubo **2.11** captador del agua (*flauta*) con perforaciones **2.12** dispuestas de costado; colocado en la mitad del tubo *flauta* **2.11** hay un dispositivo “T” **2.14** que permite la salida del agua por un tubo **2.15** para su conducción al humedal **3**; en un costado del filtro anaerobio **2** y a una distancia media de la cámara de digestión **2.2** se tiene un pozo de visita **2.17** que está interconectado con la cámara de digestión **2.2** por medio de cuatro tubos comunicantes **2.18**, **2.19**, **2.20** y **2.21** dispuestos a diferentes alturas y válvulas correspondientes; el pozo de visita **2.17** tiene también una tapadera removible **2.22**;

- c. un humedal artificial de flujo subsuperficial **3** que tiene: una relación de largo a ancho de $L:W \geq 2$; un material de relleno **3.1** que consiste de *Tezontle*; plantas **3.2** de ornato provistas en el humedal **3**; una entrada **3.3** del agua por la parte superior de un extremo, y una salida **3.4** por la parte inferior del extremo opuesto; al menos una pendiente **3.6** (talud) para contener el agua que tiene una inclinación de 45° con respecto a la horizontal (suelo); en el fondo del humedal **3** y en la pendiente **3.6** del humedal se coloca una membrana plástica impermeable **3.7** (geomembrana) resistente a la abrasión y al contacto con las aguas residuales domésticas para evitar la infiltración del agua al suelo y contaminación de los mantos freáticos; una capa **3.9** de sustrato a base *Tezontle*, con un diámetro de partícula de menor tamaño con respecto al diámetro de partícula del material de relleno **3.1**; en la parte inicial y superior del humedal **3** está instalado un tubo *flauta* **3.10** que tiene un dispositivo “T” **3.12** a la mitad de su longitud por donde llega el efluente del filtro anaerobio **2** y perforaciones **3.11** de costado; en la parte baja del extremo opuesto de la entrada del humedal **3** está colocada una segunda *flauta* **3.13**, con orificios **3.14** y con un dispositivo **3.15** en forma de “T” para la evacuación del agua del humedal; un tubo **3.16** para conducir el efluente del humedal, y un pozo **3.17** de forma circular o rectangular, en cuyo interior el tubo **3.16** se orienta verticalmente por medio de un codo **3.18**; en la parte final del tubo **3.16** se adapta un *cople* **3.19** ajustable que permite establecer el nivel **3.5** exacto de agua en el humedal **3**; el pozo **3.17** tiene un tubo **3.20** de evacuación del agua tratada dispuesto entre el fondo del pozo **3.17** y el nivel superior del *cople* **3.19**.

2. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque la dimensión del tanque séptico 1 tiene una relación largo:ancho (L:W) de 2:1 hasta 5:1.
3. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según alguna de las reivindicaciones 1-2, caracterizado porque el volumen total del tanque séptico 1 (Vt) es igual a la suma del volumen de sedimentación (Vsed) más el volumen de lodo acumulado (Vlod); el Vsed se obtiene de multiplicar el TRH por el caudal de agua residual tratado; y el Vlod es igual a una tercera parte del Vsed.
4. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque los tubos de entrada 1.10 y salida 1.11 del agua del tanque séptico 1 se ubican al nivel de llegada del agua residual y a una profundidad de 10 a 15 cm con respecto al nivel del agua 1.12, colocado el tubo de salida 1.11 a un nivel de 3 cm hacia abajo con respecto al tubo de entrada 1.10; siendo que el diámetro del tubo 1.10 es equivalente al diámetro de conducción o de llegada de agua al tanque séptico 1.
5. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque la comunicación de los compartimientos 2.1 y 2.2 del filtro anaerobio 2 es a través de una abertura rectangular 2.7 que está ubicada justo por debajo de la mampara 2.3, y cuyas dimensiones son: al menos 5 % de la altura total de filtro y un largo equivalente a lo ancho de la parte inferior de la mampara 2.3 que separa dichos compartimientos, generando este arreglo una dirección ascendente del flujo.
6. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque el tubo captador de agua o *flauta* 2.11 del filtro anaerobio 2 está tapado en los extremos, y su longitud es equivalente al ancho de lo que mide la cámara de digestión 2.2; y porque las perforaciones 2.12 son de 2.54 cm (1 pulgada) de diámetro y están dispuestas de costado en 2.11 espaciadas de modo regular y al nivel del agua 2.13 de la cámara de digestión 2.2.
7. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque el fondo 2.16 del filtro anaerobio 2 tiene una pendiente de al menos 3 % que converge al centro de la cámara 2.2 para facilitar la concentración y evacuación del lodo.

8. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque la cámara de digestión **2.2** tiene una relación de largo a ancho L:W de 2:1 hasta 3:1; y una relación de alto a ancho H:W igual o mayor a 1.5; y porque el primer compartimiento de recepción **2.1** del filtro anaerobio **2** tiene un ancho equivalente al de la cámara de digestión **2.2**.
9. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque la cámara de digestión **2.2** se rellena a un máximo del 90 % de su capacidad en volumen con el lecho poroso fijo **2.9** a base de *Tezontle*.
10. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque el tubo *cuello de ganso* **2.6** tiene una altura mínima de 2 m y está hecho de un material anticorrosivo para prevenir la corrosión por el biogás.
11. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque las perforaciones **2.24** de las placas de concreto del fondo falso **2.10** están espaciadas de modo regular, para permitir una distribución uniforme del agua.
12. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque el fondo falso **2.10** para cámaras de digestión **2.2** es reemplazado con rejilla tipo Irving.
13. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según alguna de las reivindicaciones 1 y 12, caracterizado porque el fondo falso **2.10** se coloca por encima del nivel del fondo **2.16** del filtro anaerobio **2** y está soportado sobre zapatas de concreto de igual altura, el arreglo garantiza el flujo y la distribución del agua por toda la superficie inferior del fondo falso **2.16**.
14. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque el primer tubo comunicante **2.18** (de abajo hacia arriba) tiene un diámetro de 5.08 a 7.62 cm (2 a 3 pulgadas), está en el fondo **2.16** del filtro anaerobio **2**, y sirve para purga de lodos de exceso; el segundo tubo comunicante **2.19** (de abajo hacia arriba) está colocado 10 cm antes del límite de altura del material de relleno **2.9**, y es para el monitoreo del nivel de lodo; el tercer tubo comunicante **2.20** y el cuarto tubo comunicante **2.21** son para muestreo del agua residual; siendo que el diámetro del

tubo **2.18** es mayor al diámetro de los tubos **2.19**, **2.20** y **2.21**, teniendo estos tres tubos **2.19**, **2.20** y **2.21** diámetros iguales.

- 5 15. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque el material de relleno **3.1** del humedal consiste de *Tezontle* con una tamaño de partícula de 2.54 a 3.81 cm (1 a 1.5 pulgadas) de diámetro.
16. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque la membrana plástica impermeable **3.7** (geomembrana) es de aproximadamente 1 mm de espesor y está elaborada en polipropileno de alta densidad.
- 10 17. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque el material de relleno **3.1** del humedal **3** se cubre con una malla sintética **3.8** que se fija en las orillas a modo de evitar canalizaciones.
- 15 18. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque el tamaño del diámetro de partícula del sustrato a base de *Tezontle* **3.9** que cubre la superficie de la malla sintética tiene un diámetro de partícula fina, no mayor de 1.27 cm (½ pulgada).
19. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque las perforaciones **3.11** de la *flauta* **3.10** están espaciadas de modo regular, y orientadas en sentido al flujo del agua del humedal **3**.
- 20 20. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque los orificios **3.14** de la *flauta* **3.13** están orientados en sentido contrario al flujo del agua del humedal **3**.
- 25 21. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 1, caracterizado porque las plantas **3.2** elegidas para el humedal se siembran a una profundidad equivalente a la capa **3.9** del sustrato a base de *Tezontle*.
22. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según alguna de las reivindicaciones 1 y 21, caracterizado porque la plantación del humedal **3** tiene una densidad de tres unidades por metro cuadrado en forma de *zigzag*, de manera que las corrientes de flujo de agua en el humedal **3** no generan canalizaciones y zonas muertas.

23. El sistema para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según alguna de las reivindicaciones 1 y 21-22, caracterizado porque las especies plantadas en el humedal 3 son el alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*), algunas especies del género *Canna* (*Canna fláccida* y *Canna hybridis*), las cuales reciben otros nombres comunes (platanillo, paliacate de los pantanos, o caña dorada) y ave de paraíso (*Strelitzia reginae*).

24. Un proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas mediante el sistema de la reivindicación 1, caracterizado porque comprende:

i. conducir el agua residual doméstica de un conjunto habitacional, una escuela o de una pequeña comunidad a través de un tubo a la entrada 1.10 del tanque séptico 1, en donde el flujo de agua pasa del compartimiento 1.1 al compartimiento 1.2 a través de los dispositivos "T" 1.4 y 1.5; el agua habrá de permanecer en el tanque séptico 1 por un TRH (Tiempo de Retención Hidráulica) de 2 a 12 h, para alcanzar posteriormente el nivel del agua 1.12, y salir el flujo de agua por 1.11;

ii. permitir que el agua fluya por gravedad al filtro anaerobio 2, descargando en el compartimiento 2.1 a través del tubo de entrada 2.8, pasando después el agua a la cámara de digestión 2.2 por la abertura rectangular 2.7; el agua residual es distribuida uniformemente en sentido ascendente a la cámara de digestión 2.2 gracias al diseño de la mampara 2.3 y del fondo falso 2.10, atravesando el lecho poroso o material de relleno 2.9; al mismo tiempo, el agua residual entra en contacto con la biopelícula inmobilizada que se forma sobre el lecho poroso 2.9 una vez que el filtro anaerobio 2 está estabilizado; el efluente del filtro anaerobio 2 es recuperado por la parte superior a través del tubo 2.11, cuyas perforaciones 2.12 al nivel del agua 2.13 evitan la captación de las natas y espumas que se forman sobre el nivel del agua de la cámara de digestión 2.2; a través del dispositivo "T" 2.14 y a través de la salida 2.15 el agua es conducida al humedal 3;

iii. verter y distribuir las aguas residuales a lo ancho del humedal 3 a través del tubo *flauta* 3.10, que tiene un diseño tal que permite que el agua caiga en cascada y retome oxígeno atmosférico contribuyendo al proceso de nitrificación durante el tratamiento del agua en el humedal 3; el agua tratada es recuperada a través de la segunda *flauta* 3.13 la cual se coloca en el fondo del humedal 3 a fin de forzar a que el flujo de agua atraviese el material de relleno 3.1 a base de *Tezontle*, además de atravesar la capa de

- sustrato **3.9** logrando un régimen del flujo de agua subsuperficial en el humedal **3**; el agua es retenida en el humedal por un TRH de dos a cuatro días en función de la concentración de materia orgánica presente en el agua; dicha materia orgánica residual del filtro anaerobio **2** y nutrientes (fósforo y nitrógeno) presentes en el agua son removidos por el sustrato **3.9**, el material de relleno **3.1** y las plantas **3.2**; el efluente es posteriormente conducido a través del tubo **3.16**, descargado al pozo **3.17** al nivel del *cople* **3.19** para su desinfección, y finalmente se evacúa a través del tubo **3.20** siendo en este punto óptima para uso en riego agrícola y en áreas verdes.
- 5
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
25. El proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 24, caracterizado porque el tanque séptico se limpia al menos una vez cada año, para evacuar los sólidos (lodo) que se depositan en el fondo y evitar reducir su capacidad y eficiencia de operación.
 26. El proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según alguna de las reivindicaciones 24-25, caracterizado porque la altura del lodo, no debe sobrepasar 1/3 de la altura operacional del tanque séptico **1**.
 27. El proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según alguna de las reivindicaciones 24-26, caracterizado porque la operación de remoción de lodo se realiza manualmente o con ayuda de un sistema de succión tipo “Vactor” utilizado en la limpieza de tanques grandes.
 28. El proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 24-27, caracterizado porque el TRH en la cámara de digestión **2.2** es de al menos 24 h.
 29. El proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según alguna de las reivindicaciones 24 y 28, caracterizado porque las cargas orgánicas en la cámara de digestión **2.2** están en un intervalo de 2 a 10 Kg DQO/m³-d.
 30. El proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según alguna de las reivindicaciones 24 y 28-29, caracterizado porque la eficiencia de remoción de DBO y DQO en el filtro anaerobio **2** es de 70 a 80 %.
 31. El proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 24, caracterizado porque la inoculación del filtro anaerobio **2** se realiza

agregando directamente a la cámara de digestión 2.2, por la tapadera removible 2.5, un inóculo de lodos anaerobios procedente de una planta de tratamiento de aguas residuales estabilizada de tipo anaerobia, con una concentración mínima en SSV (Sólidos Suspendidos Volátiles) del 1 %.

- 5 32. El proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según alguna de las reivindicaciones 24 y 31, caracterizado porque la etapa de adaptación y crecimiento de la biopelícula para la estabilización del filtro anaerobio 2 tarda aproximadamente de 6 a 8 semanas después de haber realizado el arranque y la inoculación del mismo.
- 10 33. El proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según alguna de las reivindicaciones 24 y 31-32, caracterizado porque la purga del exceso de lodo en el filtro anaerobio 2 se realiza de forma intermitente, cada 6 meses o bien cuando el nivel del lodo en suspensión alcanza el nivel o altura del tubo comunicante 2.19, la acción de purga se realiza a través del primer tubo comunicante 2.18, ubicado a un costado de la cámara de digestión 2.2 y en el fondo del pozo de visita 2.17 de purga de lodos.
- 15 34. El proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 24, caracterizado porque el mantenimiento del humedal 3 consiste en retirar follaje y flor de las plantas 3.2 para evitar el exceso de población de plantas, manteniendo un claro de 5 a 10 cm entre el follaje de las plantas.
- 20 35. El proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas según la reivindicación 24, caracterizado porque la desinfección del efluente del humedal 3, se realiza en el pozo 3.17, aplicando hipoclorito de sodio (NaClO), con dosis de cloro de 3 a 5 mg/mL de agua tratada.

La invención consiste en un **sistema y proceso para el tratamiento pasivo de aguas residuales domésticas**, la cual está integrado en forma secuencial de tres etapas de tratamiento, cada una con características específicas. Tanque séptico, para eliminación de materia sedimentable y flotante; Filtro anaerobio para degradación de materia orgánica; Humedal artificial de flujo subsuperficial para eliminación de materia orgánica residual y nutrientes (fosforo y nitrógeno). El sistema de tratamiento aquí propuesto tiene una eficiencia de remoción de materia orgánica medida como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) mayor e igual al 90%, obteniéndose agua tratada con calidad que cumplen con la normatividad oficial para su reutilización en riego agrícola según la NOM-001-SEMARNAT-1996 o en servicio público según la NOM-003-SEMARNAT-1997.

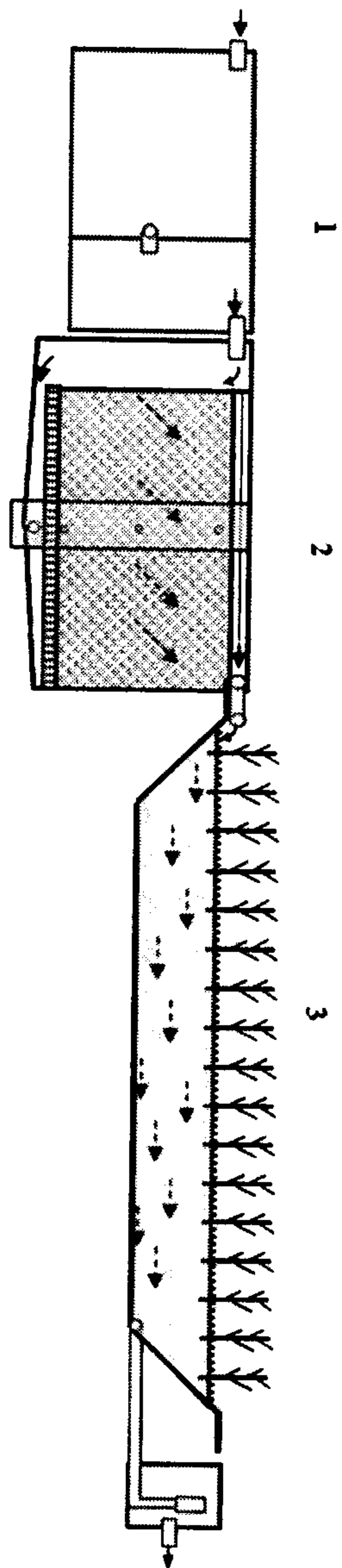


Figura 1

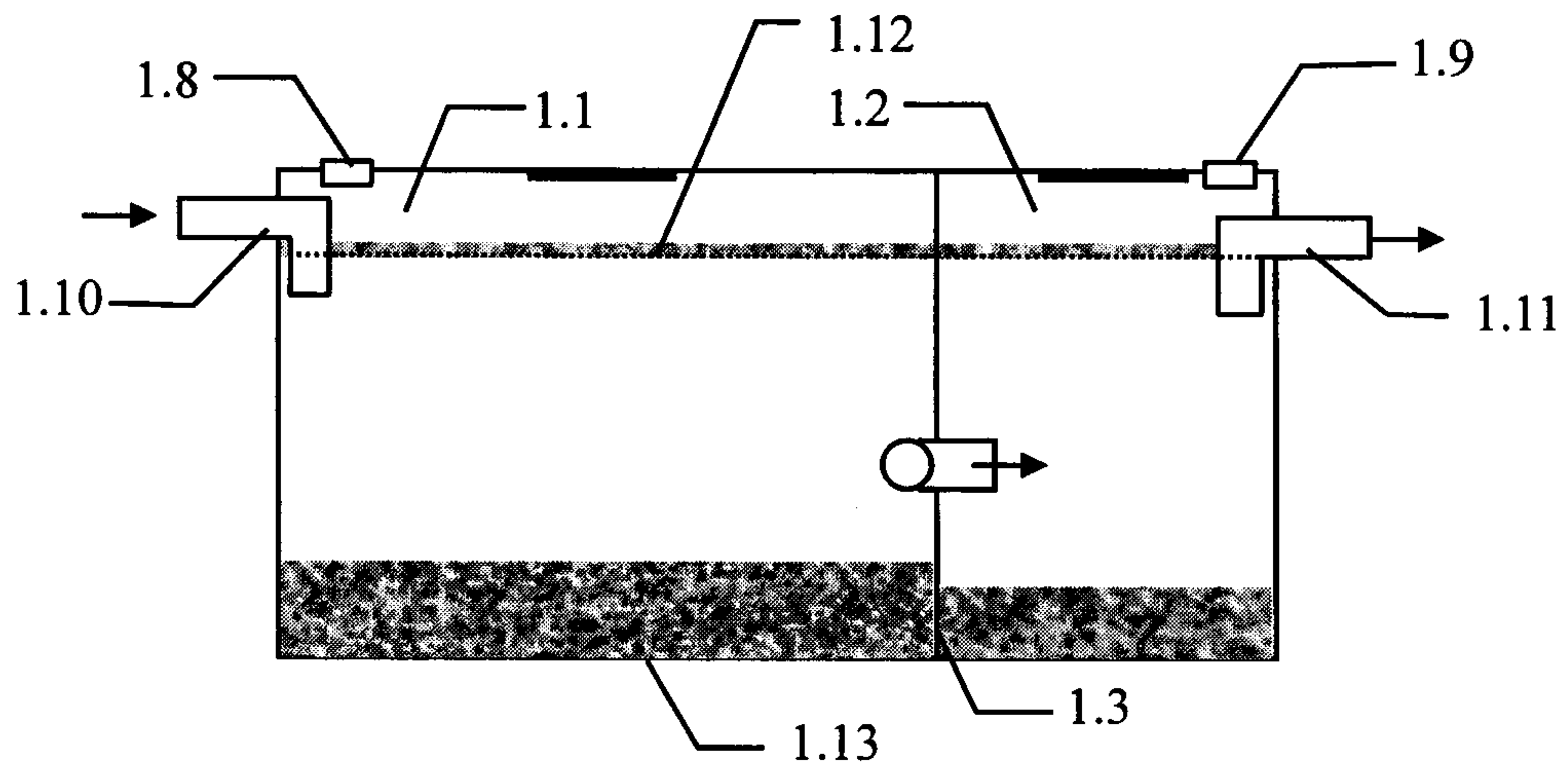
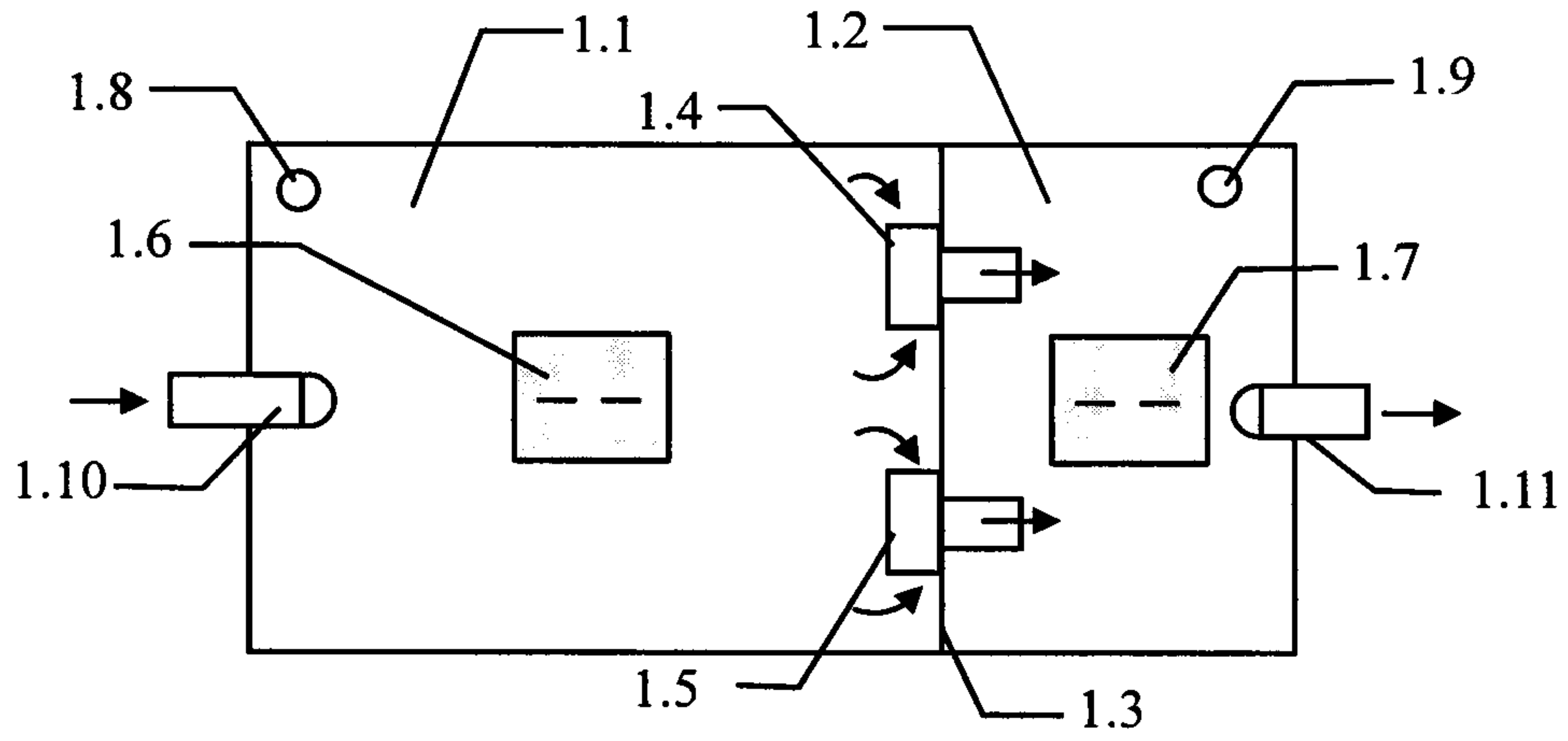


Figura 2

3/4

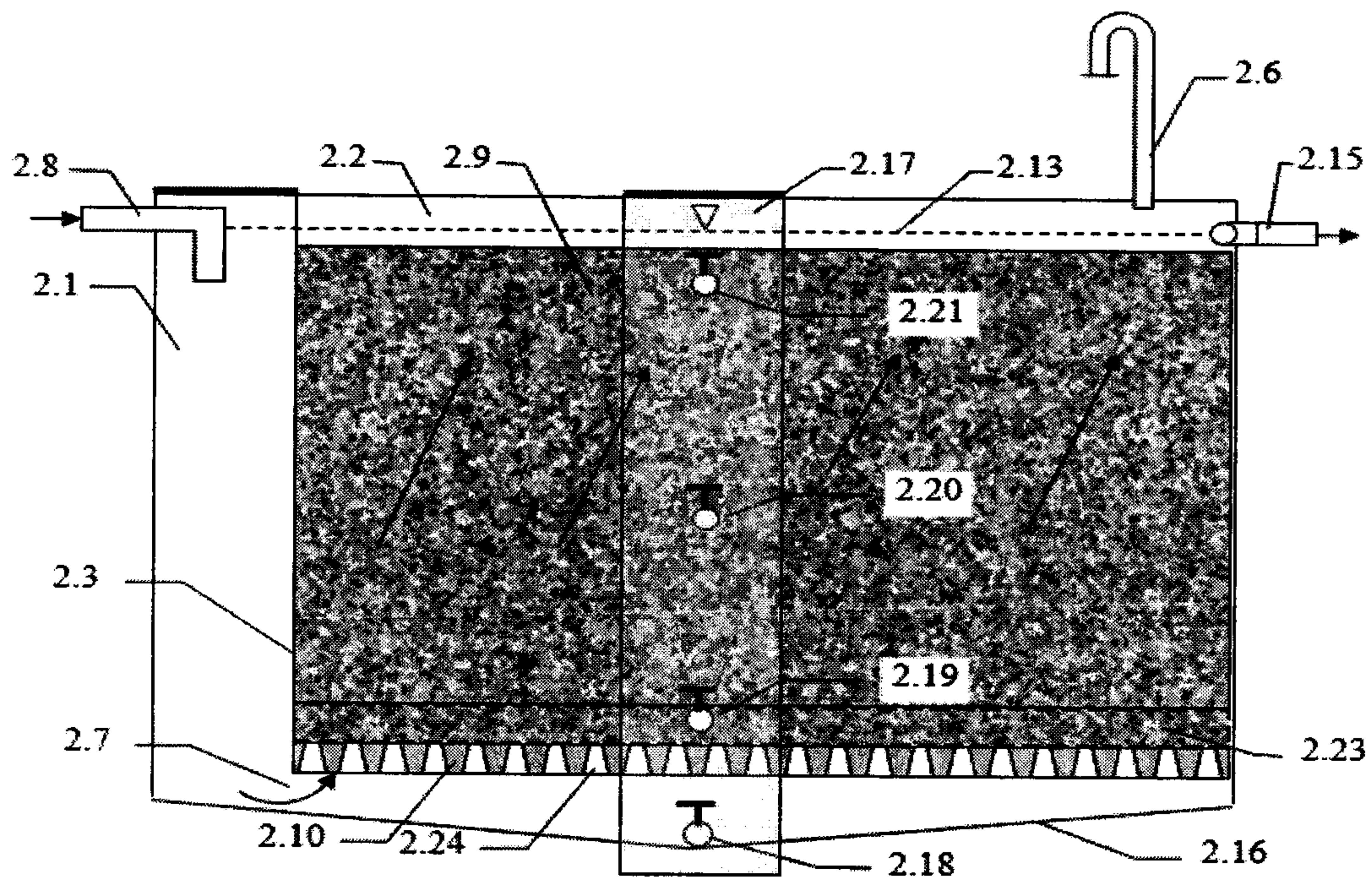
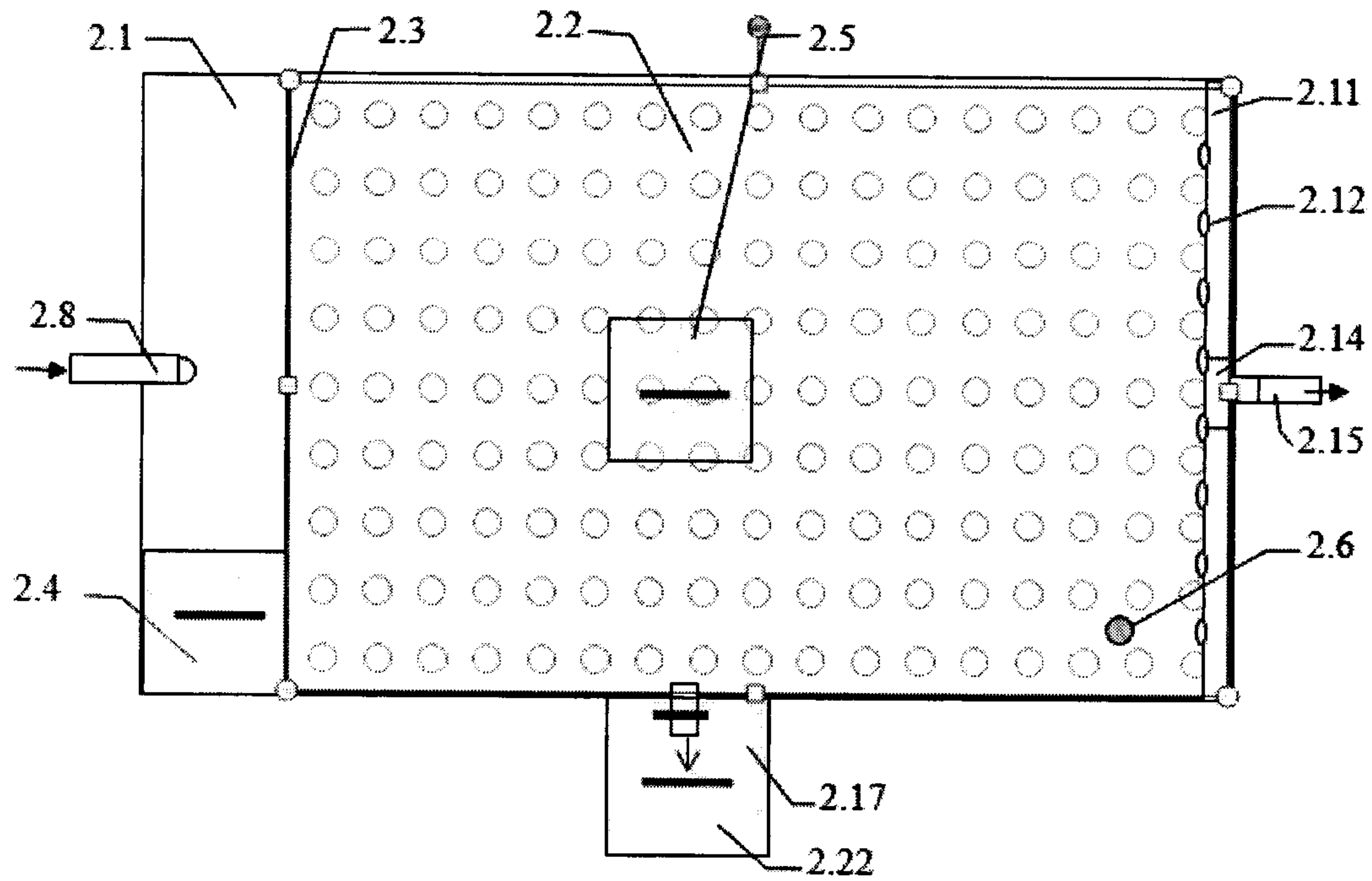


Figura 3

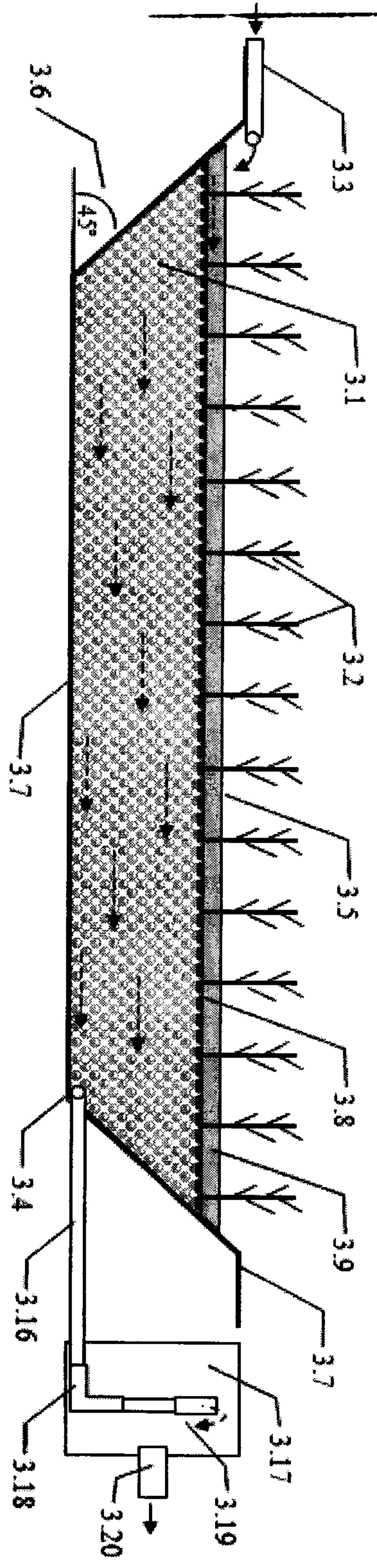


Figura 4

