

TÍTULO DE PATENTE NO. 338619

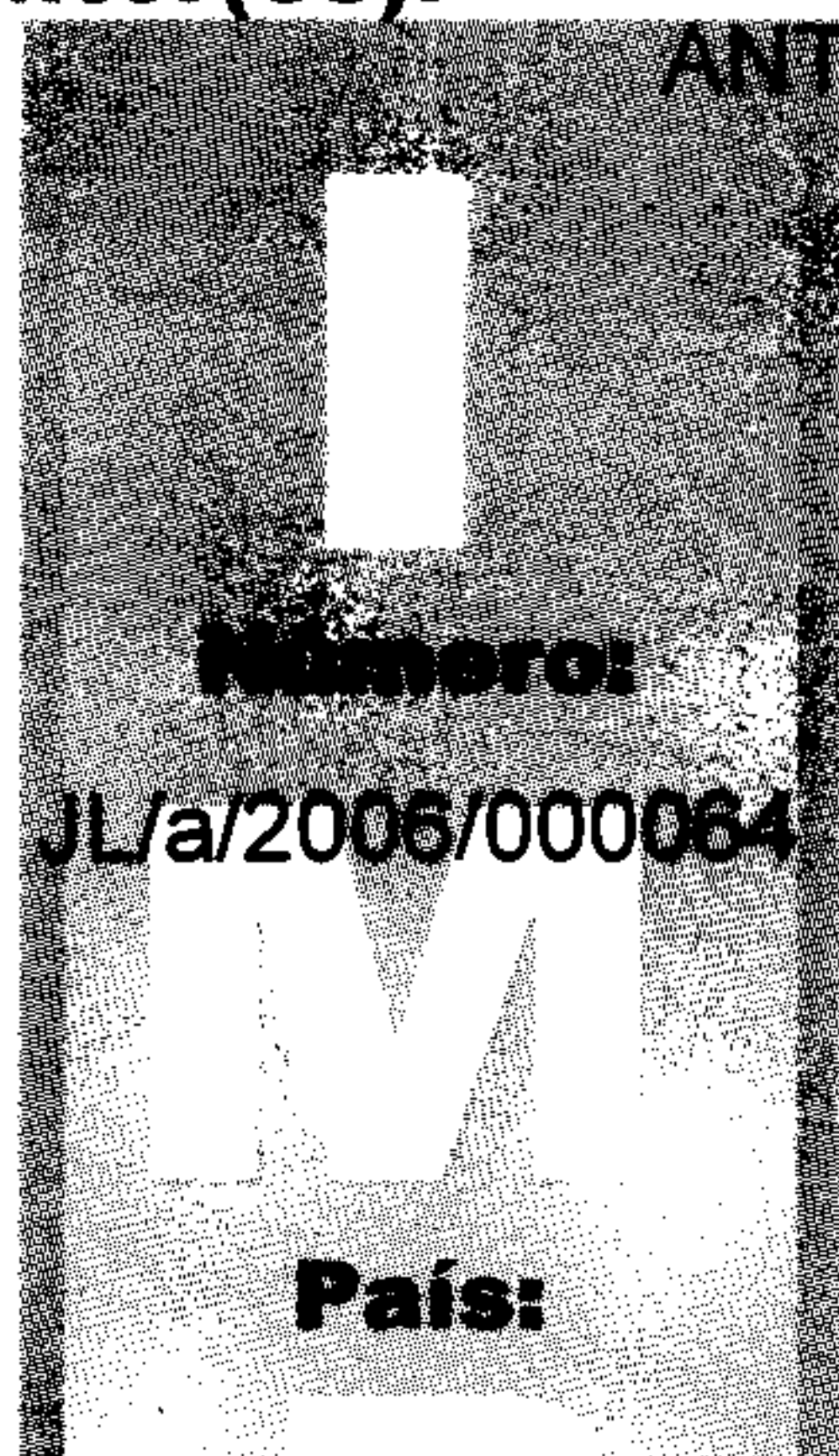
Titular(es): CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ASISTENCIA EN TECNOLOGÍA Y DISEÑO DEL ESTADO DE JALISCO A.C.; UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Domicilio: Av. Normalistas No. 800, Col. Colinas de la Normal, 44270, Guadalajara, Jalisco, MÉXICO; Av. Juárez No. 975, 44170, Guadalajara, Jalisco, MÉXICO

Denominación: MÉTODO PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE EL USO DE PLANTAS ORNAMENTALES

Clasificación: Int.CI.8: C02F3/32

Inventor(es): JOSÉ DE ANDA SÁNCHEZ; FLORENTINA ZURITA MARTÍNEZ; MARCO ANTONIO BELMONT VIDAL



SOLICITUD

Fecha de presentación:

15 de noviembre de 2006

Hora:

13:29

PRIORIDAD

Fecha:

Número:

Vigencia: Veinte años

Fecha de Vencimiento: 15 de noviembre de 2026

La patente de referencia se otorga con fundamento en los artículos 5º, 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 I y 7º bis 2 de la Ley de la Propiedad Industrial (Diario Oficial de la Federación (D.O.F.) 27/07/1991, reformado el 02/03/1994, 25/10/1996, 26/12/1997, 17/05/1999, 26/06/2004, 16/06/2005, 25/01/2006, 06/05/2009, 06/01/2010, 18/06/2010, 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 7/01/2007); 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 10/09/2007); 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: 8 de abril de 2016

LA DIRECTORA DIVISIONAL DE PATENTES

NAHANNY CANAL REYES



Arenal No. 550, Piso 1,
Col. Pueblo Santa María Tepepan,
Xochimilco, C.P. 16020,
Ciudad de México
Tel. (55) 53 34 07 00 www.impi.gob.mx



MX/2016/32053

IMPRESO EN MÉXICO
01/2016

**“MÉTODO PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE EL USO
DE PLANTAS ORNAMENTALES”**



CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se relaciona con un nuevo método que muestra cómo el uso de plantas ornamentales tropicales y subtropicales cultivadas en humedales artificiales del tipo subsuperficial con sustrato de *tezontle* (de la palabra “*tezontli*” en idioma náhuatl) es capaz de depurar aguas residuales domésticas de una manera eficiente, económica y rentable en los países de climas tropicales húmedos y/o subtropicales. El *tezontle* es una roca ígnea, volcánica y extrusiva y es un material abundante en la parte central de México y tiene la característica de ser altamente poroso y con un elevado contenido en sales minerales, propiedades ideales para la captura de nutrientes. Igualmente este material ayuda a la fijación de las raíces de las plantas utilizadas. Se hace énfasis en que la aplicación de este método hace compatible el tratamiento de aguas residuales domésticas con la producción plantas ornamentales tropicales de interés comercial.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Durante varios años se han utilizado en diversos países en vías de desarrollo las denominadas zanjas de oxidación o también conocidas como lagunas facultativas como medio para reducir los contaminantes contenidos en las aguas residuales tanto domésticas como municipales (EPA 1999b). Sin embargo, las eficiencias de tratamiento en dichos sistemas son relativamente bajas, además el hecho de ser sistemas abiertos que generan malos olores, proliferación de fauna nociva, afectaciones a la salud de la vida silvestre, y mas específicamente a los ecosistemas acuáticos en los puntos finales de descarga (Hickey *et al.* 1989). Igualmente por ser depósitos abiertos constituyen un medio para la reproducción de mosquitos transmisores de enfermedades como el paludismo, la malaria y el dengue hacia el ser humano (WHO 2005). Recientemente se ha visto también que estos sistemas generan abundantes cantidades de los gases que ocasionan el efecto invernadero en la atmósfera (AGO 2004). Por tanto un requisito indispensable para la instalación de este tipo de sistemas de tratamiento es que se deben disponer de un área grande para su construcción y estar alejados de cualquier centro de población.



Otra tecnología disponible son los llamados humedales artificiales, que son sistemas complejos e integrados, en los que el agua, las plantas, animales, microorganismos y ambiente interaccionan para tratar aguas contaminadas (Hammer 1989, Kadlec y Knight 1996, Gelt 1997, Kangas 2003,). En los humedales artificiales se optimizan los procesos físicos, químicos y biológicos para incrementar la producción de biomasa por valores
 5 arriba de los obtenidos en los humedales naturales, de esta forma es posible mejorar las eficiencias de remoción de contaminantes. Gracias al uso de plantas acuáticas en los humedales artificiales, se logra una mejor oxigenación del agua, se incrementa la eficiencia en la remoción de nutrientes, se reduce la cuenta de coliformes y *Salmonella*
 10 *spp* (Zdragas *et al.* 2002), y disminuyen sustancialmente los efectos adversos que representan las descargas a ríos y lagos (EPA 1993b).

Los humedales artificiales son sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales que generalmente tienen costos de construcción, operación y mantenimiento más bajos en comparación con los sistemas de tratamiento convencionales; igualmente los
 15 procedimientos de operación y mantenimiento se consideran simples (Huang 2000, Kivaisi 2001). Su uso es especialmente apropiado para comunidades pequeñas debido a su facilidad de operación (EPA 1993a, Tousignant *et al.* 1999, EPD 2002). No obstante sus enormes ventajas sobre las zanjas de oxidación, este tipo de sistemas siguen siendo abiertos y por lo general constituyen un foco de infección cuando se incrementa la carga
 20 de contaminantes por arriba de su capacidad de depuración. Un requisito indispensable para la correcta operación de un humedal es que la vegetación acuática, flotante o fija, debe removerse continuamente a fin de evitar infestaciones. Si se permite la infestación de malezas acuáticas, se incrementa la concentración de nutrientes biodisponibles, se forman zona de anegamiento generalmente anóxicas, y la consecuencia inmediata son
 25 malos olores, y proliferación de bacterias nocivas (Fisher y Acreman 2004). Con estas condiciones sobreviene el problema de la transmisión de enfermedades a la población derivadas de la proliferación de mosquitos y otros insectos en el humedal que, como se había mencionado anteriormente, al entrar en contacto directo con la superficie del agua contaminada, actúan como vectores de enfermedades transmisibles al ser humano
 30 (WHO 2003, 2005, 2006). Por esta razón es indispensable el monitoreo continuo de estos sistemas a fin de anticipar posibles problemas en su operación (EPA 2004).

Un paso adicional que se puede dar en este sentido es generar un sistema semiabierto a través de los humedales artificiales de flujo subsuperficial, en donde el agua no está expuesta al medio 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). Existe una gran cantidad de literatura que explica cómo operan los humedales artificiales del tipo subsuperficial (Kadlec y Knight 1996, Crites y Tchobanoglous 2000). Los sistemas de humedales artificiales o construidos, generalmente son de dos tipos: humedales de flujo horizontal (HFS) y humedales artificiales de flujo vertical (VFS) (Kadlec y Knight 1996).

10 En la mayoría de los humedales construidos, del tipo subsuperficial, encontrados en la literatura científica y de patentes se propone el uso de plantas macrófitas monocotiledóneas pandanales fijas o flotantes de la familia de las tifáceas y ciperáceas tales como el Tule (*Typha sp.*), tulillo (*Carex sp.*), carrizo (*Scirpus sp.*) y Juncos (*Juncos sp.*) (Wallace 1998, Coleman 2001, Flowers 2002, Wallace 2003, Whitehill 2003, Austin et al. 2004). 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 et al. 2005).

20 En México existe sólo una patente (Pat. MX 210924) concedida en donde se utilizan plantas macrófitas (Luna-Pabello y Durán-Domínguez de Bazúa 2002) en humedales artificiales del tipo horizontal o vertical. 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*). No obstante que en esta patente se utilizó el *tezontle* como material de empaque en la construcción y operación del humedal, la razón de su uso fue debido a que la porosidad del material permitía fijar mejor las raíces de la caña de azúcar y el papiro sin resaltar otras propiedades que favorecen la depuración de las aguas derivadas de su composición química.

25
30 Existe una aplicación de los humedales artificiales para tratar aguas residuales domésticas con la producción de plantas de interés comercial (Lihua et al. 2001), en donde se explica el proceso de depuración de aguas residuales domésticas haciendo

uso de humedales artificiales de flujo vertical y en donde el sistema opera como un proceso hidropónico para la producción de vegetales comestibles y de plantas ornamentales y otras flores de interés comercial. El trabajo realizado por Lihua *et al.* (2001) condujo posteriormente a una patente (Lihua 2005, Pat. C02F3/32). Es de resaltar que en esta patente (Pat. C02F3/32) se especifican los nombres comunes de los vegetales comestibles utilizados, pero se omitieron los nombres comunes y científicos de las plantas ornamentales o flores que argumentan haber obtenido en el proceso por lo que dicha tecnología puede considerarse como limitada para el ámbito de los vegetales producidos e incompleta o no especificada para los fines de su aplicación para la obtención de plantas ornamentales. Igualmente hay una omisión en esta patente relacionada con la inocuidad de los alimentos producidos.

Por otra parte, son pocos y muy recientes los trabajos encontrados en la literatura científica con la intención específica de tratar aguas residuales en humedales artificiales usando plantas ornamentales (Belmont y Metcalfe 2003, Belmont *et al.* 2004). La limitación en dichos trabajos radica en el tipo de plantas que se reportan, ya que el alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*) y la *Canna flaccida*, la cual recibe diversos nombres comunes (platanillo, paliacate de los pantanos, o caña dorada), han sido hasta ahora las únicas especies estudiadas. La ventaja que se observó en el uso de estas plantas en humedales artificiales del tipo subsuperficial, es que prácticamente se obtienen las mismas eficiencias de remoción de contaminantes que las reportadas en la literatura mundial sobre tratamiento de aguas residuales haciendo uso de humedales artificiales del tipo subsuperficial (EPA 1993, Kadlec y Knight 1996, Crites y Tchobanoglous 2000).

A diferencia de lo reportado en la literatura o protegido en patentes, el método que se propone en la presente invención, hace uso de diversas plantas ornamentales monocotiledóneas de diferentes géneros. Dentro de los géneros de plantas que pueden utilizarse en este método se encuentran plantas ornamentales tropicales de las siguientes familias: Anturios (*Anthurium*), Aráceas (*Araceae*) Cistáceas (*Costaceae*), Estrelíceas (*Streliziaceae*), Heliconias (*Heliconaceae*), Hemerocalis (*Hemerocallidaceae*), Liláceas (*Liliaceae*), Marantáceas (*Marantaceae*), Musáceas (*Musaceae*), y Zingiberáceas (*Zingiberaceae*). Varias especies de plantas de estas familias ya han demostrado que pueden reducir en más de un 70% los contaminantes

que normalmente se encuentran presentes en las aguas residuales domésticas. La tabla 1 proporciona el rango de concentración de los contaminantes de las aguas residuales utilizadas y que fueron capaces de ser tratadas con éste método.

5 Tabla 1. Rango de calidad del agua residual a la entrada y salida del humedal construido mediante la utilización del método propuesto.

Parámetro	Entrada	Salida
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	50 - 400	10 - 60
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	190 - 640	30 - 102
Nitrógeno total (mg/l)	49 - 70	9 -13
Fósforo total (mg/l) ^a	15 - 87	4 - 17
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	10 - 64	< 1 - 12
Coliformes Totales (NMP)	1.1x10 ⁶ - 2.4x10 ⁷	4 x10 ⁴ - 5x10 ⁴
Coliformes Fecales (NMP)	2.0x10 ⁴ - 1.6x10 ⁷	0 - 3 x10 ⁴

^a En México los detergentes contienen altas cantidades de fósforo, es por ello que los valores de entrada son superiores a los reportados en la tabla 2.

BENEFICIOS DEL MÉTODO

10 El **Método para tratar aguas residuales domésticas mediante el uso de plantas ornamentales** que se propone permite tratar aguas residuales domésticas en un amplio rango de variación de los contaminantes comunes para este tipo de aguas. Se entiende por aguas residuales domésticas aquellas en donde las concentraciones de los componentes reconocidos como contaminantes en el agua se encuentran en el rango establecido en la tabla 2. El agua residual doméstica a tratar debe estar libre de
 15 sustancias clasificadas como tóxicas tales como los compuestos halogenados, pesticidas, las soluciones que contienen metales pesados, entre otros (EPA 1999) ya que estos compuestos pueden afectar a las funciones de crecimiento y desarrollo de las plantas ornamentales tropicales utilizadas en este método, además de presentar efectos bioacumulativos en dichas plantas e impedir con ello el cumplimiento con las
 20 regulaciones para su venta como producto inocuo.

Tabla 2 Composición típica de las aguas residuales domésticas no tratadas.

Contaminantes	Símbolo	Unidades	Concentración		
			Baja	Media	Alta
Sólidos totales	ST	mg/L	350	720	1200
Sólidos disueltos	SDT	mg/L	250	500	850
Sólidos disueltos fijos	SDF	mg/L	145	300	525
Sólidos disueltos volátiles	SDV	mg/L	105	200	325
Sólidos suspendidos	SST	mg/L	100	220	350
Sólidos suspendidos fijos	SSF	mg/L	20	55	75
Sólidos suspendidos volátiles	SSV	mg/L	80	165	275
Sólidos sedimentables	SS	mg/L	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO	mg/L	110	220	400
Carbono orgánico total	COT	mg/L	80	160	290
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/L	250	500	1000
Nitrógeno total	NT	mg/L	20	40	85
Orgánico	N-Org	mg/L	8	15	35
Amoniacal	N-NH ₄ ⁺	mg/L	12	25	50
Nitritos	N-NO ₂ ⁻	mg/L	0	0	0
Nitratos	N-NO ₃ ⁻	mg/L	0	0	0
Fósforo total	PT	mg/L	4	8	15
Orgánico	P-Org	mg/L	1	3	5
Inorgánico	P-Inorg	mg/L	3	5	10
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	30	50	100
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/L	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	CO ₃ ⁼	mg/L	50	100	200
Grasas		mg/L	50	100	150
Coliformes totales		NMP/100 mL	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuestos orgánicos volátiles	COV's	mg/L	< 100	100-400	> 400

Fuente: Tchobanoglous and Burton, 1989, p. 109

Dado que el método de tratamiento propuesto permite la producción de plantas ornamentales tropicales, ésta característica le da una ventaja adicional sobre los sistemas convencionales, ya que cada flor producida a través de este método tiene un valor comercial que podría pagar el costo estándar de tratamiento de cerca de diez metros cúbico de agua producido mediante un sistema convencional. Como referencia, una sola planta como el alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*) puede producir en promedio una docena de flores por año y en un humedal puede haber una población de cuatro a cinco plantas por metro cuadrado. Esta ventaja hace de este método una alternativa muy atractiva para su aplicación en países en vías de desarrollo, los cuales generalmente se

localizan en áreas geográficas con climas tropicales húmedos y subtropicales apropiados para la producción de flor ornamental tropical. Además del beneficio del tratamiento del agua residual, la presencia de plantas con producción de flor ornamental tropical, como parte del método ofrece la posibilidad de recuperar los costos de instalación y operación del método de tratamiento, ya que las plantas ornamentales producidas cumplen con requisitos biológicos y de seguridad para ser comercializadas.

El método de tratamiento propuesto reduce en más de un 70% la contaminación del agua residual doméstica permitiendo el reúso del agua tratada para usos consuntivos en donde la calidad requerida del agua es la apropiada para el riego en la agricultura, jardines particulares y municipales, campos de golf, entre otros. Puede igualmente utilizarse como tratamiento terciario para la remoción de nutrientes después de que el agua ha sido tratada en una planta de tratamientos convencional. En este último caso en particular el agua puede tener un reúso en los sistemas de riego agrícola.

El Método para tratar aguas residuales domésticas mediante el uso de plantas ornamentales contribuye a la prevención de la eutrofización de cuerpos de agua como ríos, lagos y presas, debido a la habilidad del método para capturar el exceso de nutrientes, reducir la concentración de los sólidos disueltos, la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO). Este método se puede aplicar como barrera de depuración de aguas residuales antes de que éstas lleguen a cuerpos receptores (Ryding y Rast 1989, Mulamoottil *et al.* 1996).

El método de tratamiento que se propone es para tratar flujos reducidos de aguas residuales domésticas, entendiéndose por flujos reducidos aquellos que no sobrepasan los 10 litros por minuto de agua residual a tratar en un solo humedal. Esto significa que el método puede dar el servicio de tratamiento de aguas residuales a una pequeña comunidad de aproximadamente 100 personas, considerando la base de estimación que una sola persona puede generar en un ciclo continuo de 24 horas un promedio de 150 litros de aguas residuales (EPA 2002), igualmente evita la proliferación de poblaciones de mosquitos u otros insectos vectores de enfermedades asociadas al agua contaminada dado que el agua residual doméstica a tratar en ningún momento está expuesta en la superficie del humedal.

MEJOR METODO CONOCIDO PARA LLEVAR A CABO LA INVENCION

Los detalles característicos de esta invención “**Método para tratar aguas residual s domésticas mediante el uso de plantas ornamentales**”, se muestran claramente en la siguiente descripción y figuras:

La Figura 1.- Es un corte esquemático del método para preparar el lecho de *tezontle* y plantar las especies ornamentales sobre un sustrato húmico.

La Figura 2.- Es Diagrama de bloques que muestra el método de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el uso de plantas ornamentales.

El “**Método para tratar aguas residuales domésticas mediante el uso de plantas ornamentales**” consta de las siguientes etapas y fases:

ETAPA 1 “Conducción de las aguas residuales” Las aguas residuales domésticas provenientes de una casa o de un conjunto de casas, de una escuela o edificio de viviendas u oficinas, se canalizan con tubería de material comercial, por ejemplo de cloruro de polivinilo (PVC) o tubería de polipropileno (PP) o cualquier otro material aceptado en las normas de construcción para el manejo de aguas residuales, la forma de canalizarlas pueden ser con cualquiera de las técnicas establecidas en las normas de construcción para hacerlo (Fair *et al.* 1992), las aguas se conducen hasta un tanque séptico para retener y sedimentar los sólidos insolubles, que contiene las aguas residuales. El tanque séptico es una construcción rectangular de uno o varios compartimientos interconectados en serie que reciben las excretas y las aguas grises, el tanque séptico se construye generalmente enterrado, utilizando bloque revestido con mortero o en concreto, dicho tanque tiene como objetivo dar un primer paso de depuración de las aguas grises y las excretas para eliminar de ellas los sólidos sedimentables de uno a tres días de tiempo medio de residencia en el tanque séptico (Crites and Tchobanoglous 2000, EPA 2002).

ETAPA 2 “Retención y sedimentación de sólidos insolubles” Una vez que el agua residual se canaliza al tanque séptico éste tiene dos funciones, la primera sedimentar los sólidos gruesos y arenas y la segunda atrapar las grasas que normalmente vienen incorporadas a las aguas residuales domésticas (Montgomery 1985, Tchobanoglous and

Burton 1991, AWWA-ASCE 1998, Kawamura 2000, Duncan Mara 2004). Previamente a lo anterior a la canalización al tanque séptico se debe calcular su capacidad en base al número de personas que serán usuarios del método luego se adopta un gasto de aguas servidas en términos de volumen por persona y por día sugiriendo como una medida un
5 gasto de 150 litros de agua/persona/día y un periodo de recepción de 24 horas, debiéndose tomar la proporción de ésta en caso de no verter aguas al tanque séptico dentro de las próximas 24 horas, por ejemplo, en el caso de escuelas donde el lapso de utilización es de 6 a 8 horas diarias.

ETAPA 3 “Conducción al humedal” Una vez que las aguas residuales salen del
10 tanque séptico conforme la etapa anterior, se conducen a través de una tubería a un humedal de flujo subsuperficial, la forma y diseño del humedal subsuperficial puede ser diverso y se deben seguir los criterios ya conocidos para su diseño e instalación, siendo el mejor para la presente invención **el de flujo subsuperficial de flujo horizontal** debido a su mayor eficiencia para remover contaminantes en las aguas servidas, (Kadlec
15 and Knight 1996, Seoáñez-Calvo 1999, Duncan Mara 2004), dicho humedal debe contener para su adecuado funcionamiento lo contenido en las siguientes fases:

FASE 3.1. “Protección del humedal” Que consiste en colocar al humedal una membrana plástica impermeable (geomembrana) de aproximadamente 1 mm de espesor que sea resistente a la abrasión y al contacto con aguas residuales domésticas, lo
20 anterior a fin de evitar la contaminación del subsuelo con las aguas servidas, para proteger el fondo del humedal.

FASE 3.2. “Relleno del humedal” para asegurar el buen funcionamiento del método se debe rellenar el humedal con partículas de *tezontle* de 2 a 3 cm de diámetro como material de relleno, el cual constituye el sustrato sobre el cual se fijarán los rizomas de
25 las especies ornamentales plantadas en el humedal. Las rocas basálticas y el *tezontle* tienen la misma composición química, pero el *tezontle* es una roca con mayor área superficial dada su alta porosidad lo que le proporciona menor dureza y densidad. El alto contenido de dióxido de hierro y la alta porosidad del *tezontle*, lo hacen mejor material que la graba como relleno para aplicar el presente método, dado que el *tezontle* ayuda a
30 reducir el tiempo medio de retención hidráulica o tiempo de residencia hidráulica en el

sistema contribuyendo a una mayor eficiencia. A fin de lograr mejores resultados en el método propuesto se sugiere que en el diseño del humedal la relación largo a ancho $L:W > 3$ y la profundidad del líquido sea de aproximadamente 0.6 a 0.8 metros. Para lograr la eficiencia de remoción de contaminantes mayor al 70% y el tiempo medio de residencia hidráulica del en el humedal construido de acuerdo al método propuesto debe ser de 24-48 horas. En este método se entiende por tiempo de residencia hidráulica (TRH) a la relación del volumen del sistema entre el flujo del líquido que entra al sistema. Para el caso de un humedal de flujo subsuperficial el TRH se define como $TRH = nLWd/Q$, en donde “ n ” es la porosidad efectiva (%) del lecho de tezontle, “ L ” es la longitud del lecho (metros), “ W ” es el ancho del lecho (metros), “ d ” es la profundidad promedio del líquido en el lecho (metros), y Q es el flujo promedio del entrada del líquido al lecho (EPA 1993).

FASE 3.3. “Cubierta húmica del humedal” Con la finalidad de mejorar las condiciones de crecimiento y desarrollo de las plantas en el humedal y evitar la salida de malos olores del sistema, el lecho de *tezontle* se cubre con un material sintético o fibra natural construido como malla porosa la cual se instala para cubrir toda la superficie del lecho de *tezontle* cuidando de que quede suficientemente fijo en las orillas a fin de evitar canalizaciones (figura 1), instalada la malla porosa se vierte sobre dicha malla una capa húmica de suelo orgánico, compost o mantillo con una altura aproximada de 10 a 15 cm a fin de plantar sobre de ésta las especies ornamentales seleccionadas o a utilizar (etapa 4) , las plantas ornamentales (1) se fijan en un suelo húmico, compost o mantillo (2), el cual se encuentra sustentado sobre una malla textil porosa (3), la malla porosa cubre al lecho de *tezontle* (5) sobre el cual crecen paulatinamente los rizomas (raíces) de las especies ornamentales (4), todo el lecho en su conjunto se encuentra asentado sobre una membrana plástica impermeable (geomembrana) (6).

ETAPA 4 “Selección de las especies ornamentales” Una vez que se tiene el humedal de tipo subsuperficial con las características de la etapa anterior, se seleccionan las plantas ornamentales a utilizar en dicho humedal, se basa en la capacidad de adaptación de las mismas a las condiciones climáticas del lugar, a su afinidad con ambientes húmedos y a sus posibilidades de adaptación a las condiciones particulares de las agua residuales domésticas a tratar. Las familias de especies en donde el método ha probado capacidad de adaptación a las condiciones de las aguas residuales domésticas con una

concentración de media a alta de contaminantes (tabla 2) son: *Strelitzia reginae* (Ave de paraíso); *Anthurium andreanum* (anturio); *Hemerocallis dumortieri* (lirio japonés); *Iris laevigata, pseudacorus* (lirio); *Lysichitum americanum, camtschaticense* (cuna de moisés); *Agapanthus umbellatus, africanus* (agapando), una vez seleccionadas las especies que se plantaran en el humedal, se deben realizar las siguientes pruebas para probar si las plantas seleccionadas se podrán adaptar a las aguas residuales a fin de aplicar el método propuesto.

FASE 4.1 “Plantación de las especies ornamentales” Las especies ornamentales seleccionadas se deben plantar en la capa húmica del humedal en tres zonas diferentes un primer grupo de plantas, en la cercanía de la descarga de las aguas residuales domésticas al humedal, un segundo grupo a una distancia intermedia del extremo del humedal, y un tercer grupo al final del humedal.

FASE 4.2 “Adaptación de las especies ornamentales” Una vez plantadas las especies seleccionadas en el humedal, dichas plantas se debe observar durante un mes su capacidad de adaptación midiendo su velocidad de crecimiento, el número de hojas que va desarrollando la planta, el color de las hojas, número de flores, y el número de nuevos brotes.

FASE 4.3 “Identificación de especies ornamentales adaptadas” Se identifican aquellas especies ornamentales que hayan logrado su mejor adaptación de acuerdo con la zona del humedal donde se haya desarrollado con mejores resultados. Las especies no adaptadas se retiran del humedal.

ETAPA 5. “Estabilización del humedal” el humedal construido (conforme a la etapa tres y cuatro) debe someterse a estabilización de 2-3 meses aproximadamente para lograr su estabilización, y después de este tiempo es posible controlar los contaminantes de las aguas residuales de acuerdo con los valores obtenidos en la tabla 1 después de aplicar el método.

ETAPA 6 “Retiro de follaje y flor” Una vez que transcurre el tiempo de estabilización mencionado en la etapa 5, más del 50% del agua residual que se conduce al humedal construido de acuerdo al método propuesto se pierde por evapotranspiración a la

-12-

cantidad de agua retenida por las plantas, que para entonces han desarrollado follaje, y a las temperaturas promedio propias de los climas tropicales y subtropicales. Por tanto, a fin de mantener la producción continua de hoja y flor en el humedal construido de acuerdo al método propuesto, es necesario retirar periódicamente tanto la hoja como la

5 flor que se produce a fin de controlar el volumen del follaje. La velocidad con la que el sistema produce flor y hojas depende de varios factores tales como intensidad de la temperatura del medio ambiente, la intensidad de la luz, la concentración de nutrientes en el agua residual, etc. Por lo que no se puede dar una regla específica sobre la frecuencia con la que se deba realizar la poda de flores y hojas en el sistema. Sin

10 embargo, como criterio general se debe evitar el exceso de población de especies dentro del humedal a fin de mantener un claro de aproximadamente 5 a 10 centímetros entre plantas.

ETAPA 7 "Recepción de aguas tratadas" Una vez que las aguas han sido tratadas en el humedal estabilizado, el efluente se colecta en un tanque de recepción y

15 posteriormente se conduce hacia un tanque dosificador de donde el agua se puede bombear para el riego de jardinería. El tanque de recepción debe limpiarse una vez cada cuatro meses con la finalidad de remover los sólidos depositados en el fondo y evitar de esta forma la colmatación del mismo. Los sólidos retirados de este tanque se pueden utilizar como abono orgánico en la jardinería una vez que se han secado.

20

REFERENCIAS

- AGO 2006. Australian methodology for the estimation of greenhouse gas emissions and sinks 2004. Australian Government. Australian Greenhouse Office. National Greenhouse Gas Inventory Committee. Department of the Environment and Heritage. Australia. 24 pp.
- 5
- AWWA-ASCE 1998. *Water Treatment Plant Design*. American Water Works Association. American Society of Civil Engineers. 3th Edition. Mc-Graw-Hill. New-York. USA. 806 pp.
- 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 10 6,830,688 B2. Date of patent: December 14, 2004.
- Belmont M. A., Cantellano E., Thompson, S., Williamson, M., Sánchez, A, and Metcalfe, C. 2004. Treatment of domestic wastewater in a pilot-scale natural treatment system in Central Mexico. *Ecol. Eng.* 23:299-311.
- 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.
- Celis-Hidalgo, J., Junod-Montano, J., Sandoval-Estrada, M. 2005. Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Teoría*. Chile. 14(1):17-25.
- 20
- 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.
- 25
- Crites R, Tchobanoglous G. 2000. *Sistemas de manejo de aguas residuales, para núcleos pequeños y descentralizados*. Vol II. McGraw-Hill Inc., Colombia.
- Duncan Mara, 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.
- 30
- ECOSAN 2004. Ecological Sanitation. Available in: World Wide Web: <http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/8524.htm>.

- Eifert, W. 1999. Enhanced subsurface flow constructed wetland. United States Patent Nr.: US 5,893,975. Date of Patent: April 13, 1999.
- 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.
- 5 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.
- 10 EPA 2002. Establishing treatment system performance requirements. *In*: Onsite Wastewater Treatment Systems Manual. United States Environmental Protection Agency. Report Nr. EPA/625/R-00/008. United States Environmental Protection Agency. Office of Water, Washington D. C. 367 pp.
- 15 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. Zanjias de oxidación. EPA 832-F-00-013. United States Environmental Protection Agency. Washington, D. C. 9 pp.
- 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 Fair, G. M., Gerey, J. Ch., Okun, D. 1992. Ingeniería sanitaria y de aguas residuales. 4ª edición. Editorial Limusa, México.
- 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
- 30 of Patent: September 10, 2002.
- Hammer, D. A. 1989. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial, and Agricultural*. Lewis Publishers. 856 pp.

- 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.; Reneau Jr. R.B., Hagedorn, C. 2000. Nitrogen Removal in constructed wetlands employed to treat domestic wastewater. *Water Res.* 34, 2582-2588.
- 5 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.
- Kawamura, S. 2000. *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*. 2nd Edition. John Wiley & Sons Inc. New York, USA. 689 pp.
- 10 Kivaisi, A., 2001. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. *Ecological Engineering*. 16, 545-560.
- Lihua C. 2005. Method for treating home wastewater through artificial wetland combined vertical current with surface current. South China Agriculture Univeristy. China.
- 15 International Patent: C02F3/32. Publication Number: CN1686868. Fecha de publicación: 26/10/2005.
- Lihua, C., Shiming, L., Xizhen, Z., Yinghu, L. 2001. Treatment and utilization of septic effluent using vertical flow constructed wetlands and hydroponic cultivation of vegetables. Internet Dialogue on Ecological Sanitation. Disponible en World Wide
- 20 Web: <http://www.ias.unu.edu/proceedings/icibs/ecosan/cui.html>
- 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.
- Miranda, R., 2000. Desarrollo, situación actual y aplicaciones potenciales de los humedales artificiales de flujo horizontal en México. Tesis de licenciatura. Facultad de
- 25 Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mulamootil, G., Warner, B. G., McBean, E. A. (Eds.) 1996. *Wetlands: Environmental Gradients, Boundaries, and Buffers*. Lewis Publishers. 298 pp.
- Montgomery, J. M. 1985. *Water treatment principles and design*. James M. Montgomery, COnsulting Engineers, Inc. Wiley-Interscience Publication. 696 pp.
- 30 Ramírez, C. 2003. Evaluación de la remoción biótica y abiótica de fosfatos en reactores empacados con diferentes materiales de uso potencial en humedales artificiales.

Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de México. Ciudad Universitaria. México D. F.

Ryding S.-O., Rast, W., 1989. *The control of eutrophication of lakes and reservoirs*. Parthenon Press, Man and the Biosphere Series (MAB). UNESCO, Paris. 311 pp.

5 Seoáñez-Calvo, M. 1999. *Aguas residuales: tratamiento por humedales artificiales. Fundamentos científicos. Tecnologías. Diseño*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-Barcelona-México. 326 pp.

Tousignant, E., Frankhauser, O., Hurd, S. 1999. *Guidance manual for the design, construction and operations of constructed wetlands for rural applications in Ontario*.
10 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. and Burton, F. L. 1991. *Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, and Reuse*. 3th Edition. McGraw-Hill, Inc. New York. USA. 1334 pp.
15

UNESCO. 2003. *Water for people. Water for life*. The United Nations World Water Development Report. Paris.

UNEP. 1994. *The Pollution of Lakes and Reservoirs*. UNEP Environment Library No 12. United Nations Environment Programme. Nairobi.

20 UNEP. 1991. *Freshwater Pollution*. UNEP/GEMS Environment Library No 6. Nairobi.

Wallace, S. D. 2003. System and method for removing pollutants from water. United States Patent No.: US 6,652,743 B2. Date of Patent: November 25, 2003.

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

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. Available in
World Wide Web:

http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diseasefact/en/

5 WHO 2003. Emerging Issues in Water and Infectious Disease. World Health
Organization. Available in World Wide Web:

http://www.who.int/water_sanitation_health/emerging/emerging.pdf

Available in World Wide Web: http://rbm.who.int/wmr2005/html/exsummary_en.htm

WHO 2000. Cholera. Fact Sheet No. 107. World Health Organization. Available in World
Wide Web: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs107/en/>

10 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.

15

20

25

30

- 18 -
REIVINDICACIONES

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

- 5 1. Un sistema para tratar aguas residuales domésticas que incluye un tanque séptico, un humedal artificial de flujo subsuperficial, un tanque de recepción y un tanque dosificador, caracterizado porque el humedal artificial está conformado por:
- 10 a. al menos una membrana plástica impermeable de 1 mm de espesor resistente a la abrasión y al contacto con aguas residuales domésticas, dispuesta de manera que cubre y protege el fondo del humedal;
- b. un material de relleno del humedal que consiste de partículas de tezontle de 2 a 3 cm de diámetro que forman un lecho de tezontle;
- c. un lecho de tezontle que tiene una relación de largo a ancho $L:W > 3$, y una profundidad de 0.6 a 0.8 metros;
- 15 d. al menos una cubierta constituida por una malla porosa que cubre toda la superficie del lecho de tezontle sobre la cual se vierte una capa húmica de suelo orgánico, compost o mantillo con una altura aproximada de 10 a 15 cm;
- e. plantas ornamentales plantadas en la capa húmica del humedal.
- 20 2. El sistema para tratar aguas residuales domésticas de acuerdo a la reivindicación 1, caracterizado porque las plantas ornamentales plantadas en la capa húmica del humedal se seleccionan del grupo de: *Strelitzia reginae* (Ave de paraíso); *Anthurium andreanum* (anturio); *Hemerocallis dumortieri* (lirio japonés); *Iris laevigata*, *pseudacorus* (lirio); *Lysichitum americanum*, *camtschatcense* (cuna de moisés); *Agapanthus umbellatus*, *africanus* (agapando).
- 25 3. Un método para instalar el sistema de la reivindicación 1, que comprende las fases de:

- 19 -

- a. disponer un tanque séptico, enterrado, como una construcción rectangular de uno o varios compartimientos interconectados en serie para la recepción de las excretas y las aguas grises, con una capacidad calculada en base al número de usuarios y a la relación gasto de aguas (L)/persona/día;
- 5 b. conectar al tanque séptico de la fase anterior un humedal artificial de flujo subsuperficial en el cual se prepara un lecho de tezontle de acuerdo a los pasos siguientes:
- i. colocar al humedal una membrana plástica impermeable de 1 mm de espesor, resistente a la abrasión y al contacto con las aguas residuales domésticas;
- 10 ii. cubrir el lecho del humedal con un material de relleno que consiste de partículas de tezontle de 2 a 3 cm de diámetro;
- iii. cubrir toda la superficie del lecho de tezontle con una malla sintética porosa y extender sobre dicha malla una capa húmica de suelo orgánico, compost o mantillo con una altura de 10 a 15 cm;
- 15 iv. con base en la capacidad de adaptación a las condiciones climáticas del lugar, la afinidad con ambientes húmedos y las posibilidades de adaptación a las condiciones particulares de las aguas residuales domésticas, seleccionar las plantas ornamentales que serán plantadas en el humedal del grupo de: *Strelitzia reginae* (Ave de paraíso); *Anthurium andreanum* (anturio); *Hemerocallis dumortieri* (lirio japonés); *Iris laevigata, pseudacorus* (lirio); *Lysichitum americanum, camtschatcense* (cuna de moisés); *Agapanthus umbellatus, africanus* (agapando);
- 20 v. plantar las especies ornamentales seleccionadas en la capa húmica del humedal en tres zonas diferentes, un primer grupo en la cercanía de la descarga de las aguas residuales domésticas al humedal, un segundo grupo a una
- 25

- distancia intermedia del extremo del humedal, y un tercer grupo al final del humedal; y
- vi. identificar las especies ornamentales que hayan logrado su adaptación de acuerdo con la zona del humedal donde se hayan desarrollado; retirar las plantas no adaptadas; y, estabilizar el humedal por un período de 2 a 3 meses.
- 5
- c. acoplar un tanque de recepción al humedal artificial de flujo subsuperficial de la fase anterior para la captación del efluente; y
- d. conectar al tanque de recepción de la fase anterior un tanque dosificador, en donde el agua será bombeada para el riego de jardinería.
- 10
4. Un método para tratar aguas residuales domésticas mediante el uso de un sistema como el que se describe en la reivindicación 1, que comprende las etapas de:
- a. conducción de las aguas residuales domésticas al tanque séptico;
- b. retención y sedimentación de sólidos insolubles de las aguas residuales en el tanque séptico;
- 15
- c. conducción de las aguas residuales al humedal;
- d. recolección del efluente en un tanque de recepción y su posterior conducción a un tanque dosificador en donde el agua se puede bombear para el riego de jardinería.
- 20
5. El método de acuerdo a la reivindicación 4, caracterizado porque la capacidad del tanque séptico se calcula considerando como medida un gasto de 150 litros de agua/persona/día en 24 horas.
6. El método de acuerdo a la reivindicación 4, caracterizado porque a las plantas ornamentales se les deben retirar las hojas y flores periódicamente para mantener un espacio aproximado entre las plantas de 5 – 10 cm.
- 25
7. El método de acuerdo a la reivindicación 4, caracterizado porque el tanque de recepción de la etapa “d” debe limpiarse una vez cada cuatro meses.



- 21 -

8. El método de acuerdo a la reivindicación 7, caracterizado porque los sólidos retirados del tanque de recepción se utilizan como abono en la jardinería una vez que se han secado.

5

10

15

20

- 22 -
RESUMEN

La presente invención método innovador para tratar flujos reducidos de aguas residuales domésticas, que consiste en un humedal construido del tipo subsuperficial de flujo horizontal el cual contiene plantas ornamentales de alto valor comercial. Además del beneficio del tratamiento de las aguas, la cosecha de las flores provee de un negocio rentable a través de la producción de flores comerciales que pueden cumplir con los requisitos de seguridad biológica e inocuidad para comercializarse. Se presentan los resultados que pueden lograrse con cinco especies de plantas ornamentales. Se evaluaron diversos parámetros de calidad del agua, a la entrada y salida del sistema a escala laboratorio. La DQO se redujo en más del 75 % en todos los casos; la DBO y el nitrógeno se removieron en más del 70 %; el fósforo se redujo en más del 66 % y el oxígeno disuelto se incrementó desde 0.175 mg/l a 5.8 mg/l. Los coliformes totales y coliformes fecales se removieron en más del 99.3 %. Los resultados muestran la viabilidad del método para hacer compatible la producción de flores ornamentales con el tratamiento de aguas residuales domésticas.

20

25



FIGURA 1

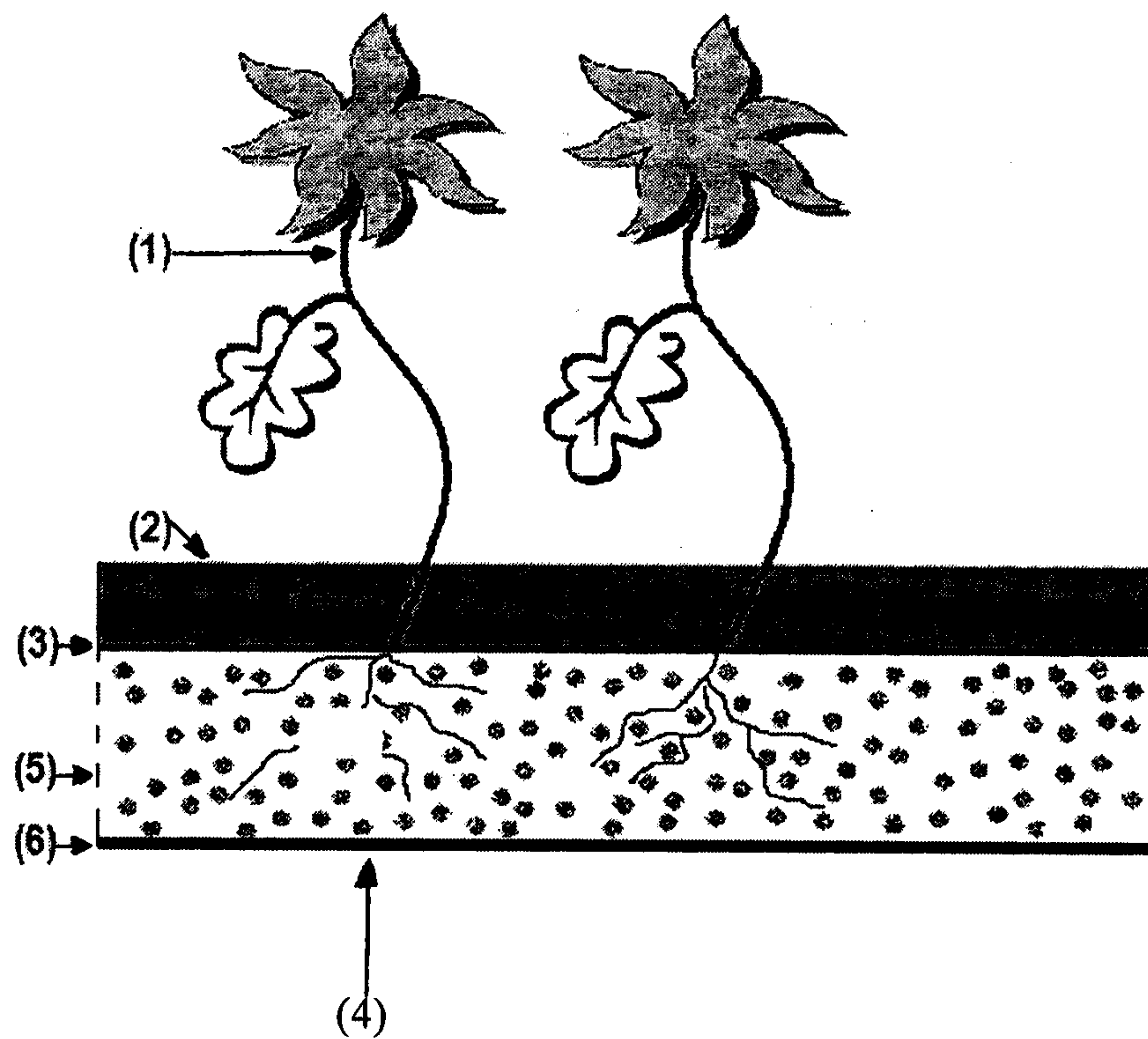




FIGURA 2

